EDMAC TRIGUEIRO

HISTÓRIA DO UNIVERSO

EDMAC TRIGUEIRO

HISTÓRIA DO UNIVERSO

Sumário

Para Lana,
Pedro Henrique,
Eduardo (Dudu, o “meninozinho”
mais lindo da Via Láctea)
e Giovana.

Esse livro não teria ficado da forma que ficou sem o olhar atento de diversas pessoas que me ajudaram das mais variadas formas. Agradeço-lhes de coração.

Maria Edirthes Lima Trigueiro, minha primeira e mais importante leitora, meu pai Machidovel Trigueiro de Oliveira, meu irmão Machidovel Filho, os familiares e amigos Juliana, Eduardo, José Neto, Myrson Lima, Cabral Melo Lima, Vicente de Paulo, Manuel Soares Bulcão Neto, Luís de Gonzaga, Augustino, Eduardo Limp, Alessandra, Samuel, Ernani, Sérgio Sombra e Cláudio Lenz Cesar.

Prefácio

SÃO POUCOS OS CIENTISTAS que escrevem compreensivelmente bem sobre Ciências para o público em geral. Também são poucos os não cientistas que o fazem melhor que os próprios cientistas, pois evitam o linguajar técnico e não hesitam em explicar o que seria “óbvio” para o especialista, mas desconhecido para a maioria das pessoas. A distância, muitas vezes, também lhes permite olhar para o tema sem a defesa secreta de suas próprias ideias ou teorias de estimação. Ao mesmo tempo, são poucos os adultos que mantêm a chama da indagação, da insistente pergunta do “por quê?” ou “como?”, do questionamento filosófico, ainda mais no Brasil, onde domina a conversa de botequim sem consequências ou profundidade. Insistindo ainda mais nas “carências”, até mesmo na minha comunidade, não é a grande maioria dos cientistas que mantém a curiosidade e a busca pela compreensão da Natureza. Muitos já sucumbiram à vida do dia a dia, às suas carreiras de administradores de ciências, ao seu trabalho das 9 às 17 horas, tal como médicos que não se apiedam de seus clientes ou advogados mais preocupados com seus honorários e honrarias do que com a busca de justiça.

O livro de Edmac Lima Trigueiro é de grande nesse oásis. Um procurador do Direito vai à busca do melhor conhecimento científico de nossa época para descobrir para si e depois contar a “história” do Universo. A Física fascinante do início do Universo, a miríade de partículas, a maneira como interagem e a compreensão de fenômenos básicos compõem o cardápio apresentado pelo “chef” Lima Trigueiro. Há muito a descobrir nessas páginas. Ao ler “História do Universo”, me vi frequentemente indo a outras fontes para aprender mais dos temas sobre os quais Edmac discorre.

Pesquisador sério, Edmac não cai nas armadilhas tão comuns para o escritor leigo em Física, a de se enveredar na multidão de teorias alternativas. Quase todas desprovidas de base científica, muitas não sobrevivem à menor comparação com dados empíricos, esses os verdadeiros fiéis da “verdade” científica. A Física, principalmente na Mecânica Quântica, é muito fácil de ser mal interpretada. Diante de tanta literatura de autoajuda, boa e ruim, é importante esclarecer esse ponto. O exemplo do erro mais frequente de interpretação da Física tem relação com o fenômeno do “tunelamento”. A Quântica prevê que partículas podem “tunelar”, ou seja, passar por regiões proibidas. A teoria prevê e os experimentos confirmam que elétrons podem passar através de regiões onde sua energia cinética seria negativa, algo proibido pela Mecânica Clássica. O Microscópio de Tunelamento nada mais é que um dispositivo que usa esse efeito e nos possibilita imagens fantásticas de superfícies, a nível atômico. O erro comum de alguns está em extrapolar esse efeito para o nível macroscópico. No recente e hilário filme “Os homens que encaravam cabras” há a cena de um general do exército americano, de uma divisão alternativa, que sai correndo em direção a uma parede na tentativa de tunelar para o outro lado. O resultado é o óbvio: ele se “esborracha” na parede. A teoria e experimentos mostram que a probabilidade de tunelamento vai ficando infinitamente menor quanto maior o sistema e a barreira. Extrapolar um fenômeno microscópico para o mundo macroscópico só dizendo que a probabilidade é menor, não faz jus à realidade. Um segundo exemplo, familiar no sentido literal, é quando meu irmão Carlos Lenz, professor de Física da Unicamp, descobriu que uma revista sobre vida extraterrestre o citava. Ele segura e levanta partículas com seu laser num microscópio, na chamada “Pinça Ótica”. Ocorre pois que isso foi evocado na revista como prova científica de que um disco voador poderia abduzir um ser humano usando raios de luz. Ora, a Pinça Ótica só funciona com partículas bem pequenas, e em condições bem especiais. Assim, extrapolar o fenômeno para o mundo macroscópio, pura e simplesmente, é um desuso da Ciência. Finalmente, como pesquisador com antimatéria nas Colaborações Athena e Alpha no Cern, em Genebra, produzimos e aprisionamos em garrafas magnéticas átomos de antihidrogênio, essa matéria tão exótica e a princípio inexistente no Universo. Esse feito tem nos rendido não só muita publicidade na mídia mundial, como tem

enchido nossas caixas postais eletrônicas com e-mails contendo teorias ainda mais exóticas e interessantes sobre tudo no Universo. Infelizmente são desprovidas de qualquer teste ou rigor científico. Todavia, é importante dizer que os cientistas também especulam e alguns dos passos mais largos foram feitos em grandes especulações, que nem sempre foram bem recebidas na época. Uma nova teoria pode desbancar uma velha, mas, no entanto, há de prover resultados e explicações compatíveis com nossos conhecidos experimentos, senão é mera "especulação científica". O livro de Edmac não comete esses erros, mostra essa Ciência atual, estabelecida e fascinante, base para qualquer novo desenvolvimento que venha a surgir.

Esse livro seria uma ótima leitura complementar recomendada por professores do Ensino Médio. Como professor de Física, ministrando desde cursos básicos até Mecânica Quântica e Física Atômica, esse livro aumenta a minha esperança de ver florescer e ser cultivada e valorizada em nossa sociedade e entre nossos alunos a curiosidade científica, a prática da observação do meio e do Universo que nos cerca, percebendo seus detalhes, questionando suas causas e efeitos, e se deleitando em sua riqueza e beleza. A Ciência é uma das mais belas construções humanas, possível graças à existência de uma ordem. Finalmente, para não dizer que não "falei de fores", ou que não gosto de Poesia, antes pelo contrário, sugiro músicas de fundo para acompanhar a leitura de "História do Universo": Caetano Veloso em "Luz do Sol" versejando a fotossíntese, Cássia Eller se incitando em "Queremos Saber" e Gilberto Gil com seu parceiro, meu ex-aluno, Moreno Veloso, se admirando em "Quanta".

Cláudio Lenz Cesar

Professor do Instituto de Física da Universidade Federal do Rio de Janeiro, doutor em Física pelo Massachusetts Institute of Technology (MIT), membro da Colaboração Alpha no Centro Europeu de Física de Partículas (Cern)

HISTÓRIA DO UNIVERSO

A origem e a evolução da vida estão ligadas de modo muito íntimo à origem e à evolução das estrelas.
Carl Sagan

Introdução

ESTE É UM LIVRO SOBRETUDO DE HISTÓRIA. Não é muito comum, eu diria até que quase não existem livros de história que se proponham a contar a história física do Universo, como ele começou e como evoluiu até alcançar a estrutura atual. Talvez a dificuldade resida em que este tema, além de científico, é relativamente novo.

A cientificidade pode afastar os historiadores profissionais porque eles podem pensar que terão de transformar o universo dos números no de palavras. E a novidade talvez não os tenha dado tempo suficiente para tomarem consciência de que podem fazer um livro como esse.

Outra justificativa, para a carência de obras nessa área, prende-se ao elevado grau de especialização do conhecimento, que pode impedir, por exemplo, que um professor Ph.D. em história colonial brasileira sinta-se à vontade para discorrer sobre outras áreas que não aquelas restritas à sua atuação como profissional, quando não se autocensura por medo de perder o "status" conquistado a duras penas ao longo da carreira em sua respectiva área de atuação.

Há também aí como que uma reserva de mercado, no sentido de que um tema, como o deste livro, seja escrito apenas por físicos de partículas, astrofísicos ou astrônomos.

Durante muito tempo na história da humanidade, a religião encarregou-se de explicar o sobrenatural. Naquele passado não tão distante, não havia escolha, pois não existia ciência. Assim, a única forma de acedermos às origens do Universo era apegando-nos ao que nos ensinava a mitologia e o que nos legava a religião. Hoje, entretanto, parte deste espaço é ocupado pela ciência.

A explicação racional dos mistérios da natureza surgiu há milênios, nas civilizações do Oriente Próximo e, posteriormente, na Grécia Clássica. É somente após o Renascimento, no século XVI, entretanto, principalmente com Copérnico, Kepler e Galileu, que teve início seu crescimento vertiginoso, conforme se verá ao longo do livro.A história do Universo, porém, é recente. É uma história do século XX. Talvez este seja outro motivo pelo qual os historiadores não se tenham dado conta de que a disciplina, que existe desde Heródoto, já pode nos oferecer um quadro coerente sobre a origem do Universo, pelo menos em termos científicos. Com efeito, vivemos em uma época muito especial, uma era em que já se pode ter, com razoável grau de certeza, uma ideia aproximada de como surgiu e evoluiu o Universo.

Essa novidade atribui-se aos recentes avanços nos campos da cosmologia e da astrofísica, especialmente com o desenvolvimento de telescópios espaciais e terrestres cada vez mais potentes, além de satélites de exploração cada vez mais sofisticados, que estão, a cada dia, nos revelando novos detalhes do cosmos. De fato, a cosmologia, parte da física que estuda a origem e a evolução do Universo, tem crescido muito nos últimos anos, não só com os avanços do cabedal teórico, bem como com o progresso dos equipamentos científicos, como telescópios de última geração, tudo somado na busca de se desvendarem os segredos que o Universo teima em nos esconder.

O crescimento e a consolidação da cosmologia produziram uma enorme gama de textos científicos, que consultamos com o intuito de produzir este trabalho. Todo o material utilizado nesta pesquisa está relacionado na bibliografia, ao final do livro.

Foi muito gratificante descobrir que hoje a ciência já permite que se conte o desenrolar da história do Universo. Como somos privilegiados por vivermos na época atual! Lembremo-nos daqueles que subiam nos zigurates, na antiga Babilônia, só para apreciarem melhor o céu, na tentativa de desvendar seus mistérios.

Nenhum livro pode ser escrito sem suas razões pessoais. No caso particular, o nascimento de meu filho

Eduardo ofereceu-me a oportunidade de refletir sobre temas muito mais profundos. E não há nada mais profundo no pensamento filosófico de um ser humano do que refletir sobre as próprias origens, sobre a origem da vida e do Universo.

Em minha infância, costumava observar o céu repleto de estrelas. Jamais imaginava que pudesse qualquer delas ser parecida com o Sol. Durante muitos anos, a humanidade inteira imaginou a mesma coisa. Certo dia, dei-me conta de que, passados vários anos, ainda não tinha respostas para aqueles pontinhos de luz luminosos no céu. Aquilo sempre me inquietou e, de certa forma, este livro também representa a busca por aquelas respostas.

De quando em vez, pego-me perguntando por que empreguei todo esse esforço para escrever este livro e as respostas que encontro são de duas ordens: a primeira, a de que isso me preenche um vazio consistente na busca incessante e milenar de todo ser humano por conhecer suas origens e a do próprio Universo; a outra, o gosto especial pela história. Afinal de contas, é sobre a história física do Universo de que trata este livro.

O presente maior que um autor pode receber é poder ser compreendido por todos e a maneira mais fácil de fazer isso é tentar transmitir ideias claras, precisas e simples. Foi minha preocupação tentar transmiti-las da forma mais completa e detalhada possível, mas sem se utilizar da linguagem matemática. Essa tarefa muitas vezes não é fácil, mas a complexidade e os detalhes são inimigos mortais da simplicidade e da clareza. Como tentar pôr todos os detalhes sem perder a clareza? Com efeito, buscar equacionar essas duas variáveis deixou-me em muitos momentos à beira do colapso nervoso.

Steve Jobs, o fundador da *Apple*, acredita que tudo tem de ser claro e fácil de entender. Para ele, menos é mais. Simplicidade equivale à inteligência; e complexidade, à confusão mental. Procuramos seguir seus conselhos. Não sei se conseguimos, mas ficaremos felizes se cada leitor puder ao final do livro ter uma ideia aproximada de como surgiu o Universo e, não importa que não entenda todos os detalhes, possa pelo menos compreender suas linhas gerais. Isso porque, nesse campo, ideias precisas e certezas absolutas nem mesmo os mais eminentes cosmólogos atuais têm.

Para finalizar, quero dizer que tive bem claro antes de começar a escrever este livro a necessidade de adotar três metodologias com o intuito de não tornar a obra enfadonha e prolixa, a saber: a primeira, a de que deveria priorizar a apresentação dos resultados, quando os detalhes em que os resultados são obtidos são muito complicados; a segunda, a de procurar contar a história do Universo sem uma complexidade maior do que a estritamente necessária para o seu completo entendimento; e, a terceira, a de procurar evitar o emprego de uma linguagem hermética e impenetrável. Afinal de contas, como reconhece o físico Steven Weinberg (1933-), esse tipo de estratagema só pode ser feito para impressionar os leitores que confundem obscuridade com profundidade.

Capítulo I

Em busca da partícula elementar do universo

VAMOS INICIAR NOSSA VIAGEM cósmica sobre a história do Universo primeiro sabendo de que ele é feito. O Universo é feito de átomos! Esses átomos interagem entre si através das quatro forças que existem na natureza, a força da gravidade, o eletromagnetismo, a força fraca e a força forte. É sobre isso que falaremos neste primeiro capítulo.

O erro de Aristóteles

A química é a parte da ciência responsável pelo estudo da matéria, mas de que é composta mesmo a matéria? Os cientistas já sabem que a matéria pode dividir-se e hoje estão em busca da matéria indivisível, vale dizer, da partícula fundamental, ou elementar, da matéria. Eles estão em busca de descobrir de que ela é formada. Essa busca começou há muito tempo!

Que bom seria se falássemos apenas de uma única cultura universal. Infelizmente, tradicionalmente, dividiu-se a cultura em oriental e ocidental. A ênfase maior de nosso trabalho é na tradição cultural ocidental, da qual emanamos, mas, na medida do possível, traremos algumas das contribuições do mundo oriental.

Nessa linha, a tradição cosmológica oriental, mais precisamente a indiana, extraída do Rig Veda, o livro sagrado dos hindus, que levou cerca de 500 a 600 anos para ser escrito, e que foi terminado por volta do século XV a.C.[1] , estabelecia, de acordo com a doutrina Kanada, a existência de quatro substâncias elementares, terra, ar, água e fogo.

No mundo grego, quase um milênio depois dos orientais, Empédocles (c.490-430a.C.), no século V a.C., também propôs o mesmo, ou seja, sustentou que todas as coisas do Universo eram feitas de diferentes combinações dos quatro elementos – terra, ar, água e fogo. Assim, pode-se dizer que a tabela periódica do Mundo Antigo, tanto oriental quanto ocidental, resumia-se a esses quatro elementos, todavia, nessa época, ainda não havia a noção do átomo. Mas ela não demoraria muito a chegar.

Na Grécia Antiga, coube a Leucipo, que viveu no século V antes de Cristo, a honra de ser o primeiro filósofo grego a propor que tudo o que existe no Universo era feito de átomos, que seriam elementos indivisíveis. Mais tarde, Demócrito (c.460-370a.C.), seu discípulo, sistematizou e aperfeiçoou suas ideias.

Como teria sido diferente a história da ciência se a hipótese atômica de Leucipo e de Demócrito tivesse sido levada a sério, florescendo a partir da Grécia Antiga e espalhando-se por todo o mundo. Infelizmente, isso não ocorreu.

Um dos motivos para a hipótese atômica de Leucipo e Demócrito não haver progredido na Grécia Antiga foi sua rejeição pelo seu filósofo mais eminente, Aristóteles, que foi tutor de Alexandre, o Grande.

A ideia de Leucipo e Demócrito, portanto, ficou adormecida por muitos anos, ultrapassando toda a Idade Antiga e a Idade Média, sem mais nenhum acréscimo relevante. Ela só iria ressurgir com força depois do Renascimento.

Aristóteles (384-322a.C.), por volta de 350a.C., além de rejeitar a hipótese atômica de Leucipo e Demócrito, que estava correta, cometeu outro erro. Ele escreveu, na esteira do pensamento de Empédocles, que tudo que havia na Terra era composto das combinações dos quatro elementos: terra, ar, água e fogo. Essa ideia da combinação dos quatro elementos é muito sedutora e permeou o imaginário coletivo até os dias de hoje[2] , mas se trata de um reducionismo e, a rigor, está errada.

Os erros de Aristóteles não pararam por aí.[3] Ele previu a existência de um quinto elemento, além da terra, do ar, da água e do fogo. O éter, também chamado de quintessência, era um elemento que ficava fora de nosso planeta, entre as estrelas.

A autoridade de Aristóteles fez que essa ideia errada prevalecesse por milhares de anos, através de sucessivas gerações, e até mesmo os cientistas mais ilustres, como Isaac Newton, acreditavam nela.

A existência do éter levou muito tempo para ser desconstruída e ela só foi finalmente eliminada da ciência a partir do experimento de Michelson e Morley, realizado em 1887, nos Estados Unidos. Nesse experimento, procurou-se medir o movimento do planeta Terra em relação ao suposto éter, empregando-se um aparelho, o interferômetro, instalado na superfície da Terra, o qual, através de espelhos, promovia a separação de feixes de luz em diferentes direções.

Com efeito, assim como é sabido que o som se propaga através do espaço pelo ar[4], achava-se, na esteira do pensamento de Aristóteles, até o experimento de Michelson-Morley, que a luz se propagava pelo espaço através do éter luminífero. O experimento demonstrou que os feixes de luz tinham a mesma velocidade, independentemente de se moverem na direção do movimento da Terra, ou, em sentido contrário a essa direção, provando, por consequência, que o planeta Terra não se movimentava pelo espaço através do éter. Comprovou-se, então, que no espaço não existe tal substância e que a luz, diferentemente do som, pode propagar-se sem um meio, no vácuo.

Dalton redescobre o átomo em 1808

O ano de 1808 tem uma importância singular na história brasileira, pois registra a chegada da família real ao Brasil. Mas reveste-se de um significado ainda mais especial na ciência, pois marca a redescoberta do átomo de Leucipo e Demócrito. Essa redescoberta coube ao cientista inglês John Dalton. Dalton nasceu em Eaglesfield, na Inglaterra, em 1766. Estudou a doença de que ele próprio padecia, batizada de daltonismo. De origem humilde, dedicou toda a vida ao ensino e à pesquisa, tendo sido professor de química em Manchester, onde veio a falecer em 1844.

Para ele, todo e qualquer tipo de matéria era formada por uma partícula indivisível chamada de átomo (do grego “a”=não, “tomo”=parte), ou seja, o que não tem partes, portanto, indivisível. Esse modelo entrou para a ciência como o modelo atômico de Dalton.

Até bem pouco tempo, acreditava-se que a partícula fundamental fosse mesmo o átomo e, em parte, isso é verdadeiro, pois, de fato, toda a matéria existente no Universo em qualquer de suas formas é composta de átomos. Parte do ar que respiramos, de uma rocha, da areia, da água, de nosso corpo, das plantas, dos animais, enfim, de toda a matéria é composta por átomos[5] .

O tamanho do átomo

O átomo é muito pequeno. Para se ter uma ideia de seu tamanho, se pegássemos um grama de ferro, por exemplo, encontraríamos 10.710.000.000.000.000.000.000 de átomos. Da mesma maneira, se pesássemos um átomo de hidrogênio, chegaríamos à massa de 0,000000000000000000000001660g[6] . Em um grama de água existem cerca de 30.000.000.000.000.000.000.000 de moléculas de água (H_2O). Dez milhões de átomos dispostos lado a lado seriam suficientes apenas para preencher o tracinho dentro do parêntese a seguir “_”.

Um átomo é, com efeito, cerca de um milhão de vezes menor do que um grãozinho de areia. Tão difícil quanto imaginar a imensidão do cosmos é imaginar a pequenez do átomo. Apenas a partir da década de 1980, com a invenção do microscópio eletrônico de tunelamento, foi possível aumentar a imagem dessas estruturas em milhões de vezes e, a partir daí, com a combinação com programas de computador, produzir imagens aproximadas dos átomos.[7]

O Universo é feito de átomos

A ciência avançou muito ao longo dos anos. Estamos muito distantes do modelo aristotélico. Os cientistas de hoje diriam que tanto a terra, quanto o ar, a água e o fogo são formados por átomos, mas não só eles, o próprio Universo intergaláctico e interestelar e tudo que está por sob e sobre, dentro e fora da Terra. E o que é mais admirável em tudo isso: toda essa matéria, desde a que compõe a Lua ou o mais distante dos planetas, é formada por apenas diferentes combinações e arranjos dos mesmíssimos 92 tipos de átomos existentes na natureza, do mais leve deles, o hidrogênio (nº 1 da tabela periódica, cozinhado no Big Bang), ao mais pesado, o urânio (nº 92, com 92 prótons dentro de seu núcleo, cozinhado na explosão de uma estrela gigante chamada supernova). E esses elementos que compõem a matéria universal são os mesmos que são encontrados aqui na Terra, em maior ou menor proporção, ou seja, a mais distante das estrelas ou o mais distante dos planetas, perdidos na imensidão vazia do espaço sideral, são formados pela mesma essência do que somos formados. Isso reforça a tese de que tivemos uma origem comum. Ora, se o Universo é tão grande e nada existe nele além desses 92 elementos químicos, mesmo fora e muito longe do planeta Terra, é porque tivemos uma origem comum!

Como dissemos, Aristóteles imaginou que, para além de nosso planeta, pudesse existir uma quintessência, um elemento químico diferente daqueles encontrados aqui na Terra. Até hoje isso jamais se confirmou. Tudo indica que o que existe para além da Terra existe aqui também. O que muda é apenas a proporção, a quantidade e a maneira como se ligam uns aos outros. Mais uma prova de que tivemos uma origem universal comum, ou, como gostam de dizer os astrônomos e os poetas, somos produtos do mesmo gás e da mesma poeira estelar.

Um dos avanços mais importantes na comprovação da composição química do Universo deu-se com a invenção de um aparelho chamado “espectroscópio”, utilizado para identificar os diferentes tipos de elementos químicos. A identificação dá-se da seguinte forma: todo átomo possui a propriedade de emitir luz. Essa emissão deve-se à vibração dos elétrons dentro do átomo e ocorre quando um de seus elétrons salta para uma órbita mais interna. Cada tipo diferente de átomo possui um padrão característico único de frequência de luz emitida por ele. O espectroscópio capta essas diferentes frequências e assim consegue identificar qual o elemento químico analisado. Quando se trata da identificação dos elementos químicos presentes em estrelas distantes, os átomos das camadas mais exteriores da estrela absorvem a luz produzida no seu interior em certas frequências ou cores, formando linhas escuras no espectroscópio, resultantes do material absorvido por essas estrelas. Essas linhas, revelando qual o elemento químico que foi absorvido, dão a indicação da composição química da estrela.

Na composição química do Universo, encontramos uma distribuição desproporcional entre os elementos químicos. Um aspecto intrigante é que o Universo é composto, em sua maior parte, por substâncias químicas mais leves, menores e menos complexas. Com efeito, o hidrogênio, o combustível das estrelas, é o elemento mais simples que existe no Universo[8] , composto por apenas um próton e um elétron, seguido pelo hélio, o segundo elemento mais simples, composto por dois prótons e dois elétrons (e dois nêutrons).[9] Embora raro na atmosfera terrestre, o hélio é o segundo elemento mais comum no Universo, ocupando cerca de 25% de sua composição química. Juntos, hidrogênio e hélio são responsáveis por aproximadamente 99% da composição química do Universo. Esses dois elementos eram praticamente os únicos que existiam no começo da formação e da evolução do Universo, depois do Big Bang.

A descoberta do próton, do nêutron e do elétron

A descoberta do átomo por Leucipo e Demócrito e sua redescoberta, em 1808, por Dalton, não encerraram as discussões acerca da partícula elementar da matéria. Posteriormente, com as contribuições de Crookes (1832-1919) em 1875, de Goldstein (1850-1930), em 1886, de J.J. Thomson (1856-1940), em 1903, de Rutherford (1871-1937), em 1911, de Bohr (1885-1962), em 1913 e de Chadwick (1891-1974), em 1932, descobriu-se que, no interior do átomo, existem estruturas menores. São os prótons, os nêutrons e os elétrons. O átomo teria um núcleo, onde habitariam os prótons e os nêutrons. Circundando o núcleo, mas com uma massa quase duas mil vezes menor, encontraríamos os elétrons, que se movimentariam em uma região ao redor do núcleo chamada de eletrosfera.

Se os 92 tipos diferentes de átomos são formados pelas mesmas estruturas - próton, nêutron e elétron, então, por que atribuímos nomes diferentes a eles, como hidrogênio, hélio, lítio etc ? É porque os átomos se diferenciam pelo tamanho, pela massa, pela densidade, pelo número de prótons, nêutrons e elétrons e pela capacidade de ceder, receber ou compartilhar elétrons com outros átomos. O elemento mais importante para distinguir um átomo de outro é o número de prótons que ele contém. Os números 1 a 92 da tabela periódica são atribuídos em razão do número de prótons que o átomo contém em seu interior. Assim, o elemento químico nº 1 tem 1 próton em seu interior, o número 2 tem 2 prótons e assim sucessivamente, de modo que, ao se acrescentar um próton ao átomo, muda-se o nome do próprio átomo. Por outro lado, pouquíssimos desses 92 elementos químicos são encontrados livremente na natureza, de forma isolada. A regra é encontrá-los em combinações com outros, formando moléculas, como é o caso da água que bebemos e do ar que respiramos e aí, nessas ligações, o elemento mais importante do átomo passa a ser o elétron, pois é ele quem vai comandar essas ligações, associando-se ou não aos outros elementos. Com efeito, os elétrons são os responsáveis pelas propriedades químicas e pelos fenômenos elétricos da matéria.

Voltando à descoberta do próton, do nêutron e do elétron, deve-se registrar que, cronologicamente falando, primeiro, em 1897, em Cambridge, J.J. Thomson descobriu o elétron. Em seguida, em 1911, em Manchester, foi a vez de Rutherford descobrir o núcleo atômico carregado positivamente (próton), mas foi somente em 1932, em Cambridge, que Chadwick descobriu o nêutron. É claro que essas estruturas não se descobrem do dia para a noite, em um único ato de lampejo isolado de um gênio da ciência, simplesmente porque a ciência não funciona e nunca funcionou dessa forma. Seus avanços e suas descobertas são fruto de um processo coletivo em que cada um vai colocando uma pedrinha em um determinado local, outra em outro, até que um felizardo as arrume e as coloque em seus devidos lugares, descobrindo a interrelação que existe entre elas, para a qual, na maior parte das vezes, terá contribuído para o desfecho final com seu próprio e genial trabalho. Assim também ocorreu com a descoberta do próton, do nêutron e do elétron, que foi cozida em fogo lento. Mas J.J. Thomson (do elétron, 1897), Rutherford (do próton, 1911) e Chadwick (do nêutron, 1932) são seus principais atores. Foram eles que entraram para a história, porque responsáveis por seu desfecho final e pelas conclusões que tiveram a coragem e a genialidade de anunciar.

A estrutura interna do átomo

Se imaginássemos a estrutura interna de um átomo, teríamos que formar uma ideia de uma bola de pingue-pongue situada no centro do gramado do Maracanã. O núcleo do átomo seria essa bola (onde estão presos os prótons e os nêutrons) e, em torno dela, circulariam partículas (os elétrons) em um espaço (a eletrosfera) do tamanho do próprio estádio. Com efeito, o núcleo de um átomo é cerca de 100.000 vezes menor do que o átomo como um todo. Todavia, para a analogia ficar perfeita, teríamos que acrescentar que a massa do núcleo do átomo, representada pela bola de pingue-pongue, corresponderia a aproximadamente 99,9% da massa do átomo como um todo.

Isso significa que o átomo é essencialmente vazio. A mesma comparação se pode fazer com o espaço profundo do Universo. Ele também é essencialmente vazio. Com efeito, estima-se que sua densidade média seja de três átomos por metro cúbico. De fato, esta é uma curiosa coincidência entre as formas do mundo subatômico e do mundo intergaláctico. No fundo, o muito pequeno se assemelha, na sua essência, ao muito grande.

Do átomo clássico ao átomo quântico

Agora que chegamos ao interior do átomo, chegou a hora de saber que seus componentes, os prótons, os nêutrons e os elétrons, se comportam de uma maneira muito estranha. É que eles não obedecem às regras da física clássica. Obedecem às regras da física quântica. Vamos tentar explicar qual foi o obstáculo encontrado pela física clássica com relação ao átomo. Conforme vimos, dentro do átomo existem prótons e nêutrons, no interior do núcleo atômico, e elétrons, na eletrosfera. Quando se descobriu a estrutura interna do átomo, verificou-se que o próton possui carga elétrica positiva (+), que o elétron possui carga elétrica negativa (-) e que o nêutron não possui carga elétrica.[10] Sabia-se, ainda, que cargas elétricas iguais se repelem e que cargas elétricas opostas se atraem. Por outro lado, depois de descobrir, em 1911, o núcleo do átomo composto por partículas carregadas positivamente, Rutherford imaginou o átomo à imagem e semelhança do Sistema Solar: o núcleo representando o Sol, enquanto os planetas representariam os elétrons. À época, esse modelo ficou conhecido como o modelo planetário do átomo.

Esses elétrons, porém, não ficam parados, estáticos. Permanecem em contínuo movimento, como que em movimento elíptico ao redor do núcleo atômico. Ora, mas se os elétrons estão girando em órbitas ao redor do núcleo do átomo, a tendência, pelas leis da física clássica, era a de que a energia despendida em seu movimento fosse diminuindo, se dissipando, a ponto de a força gravitacional do núcleo atômico conseguir puxá-lo (atraí-lo) para o interior do núcleo, ou seja, a tendência era a de que o elétron caísse dentro do núcleo. Isso por causa do poder de atração de cargas elétricas opostas. O próton(+), do núcleo atômico, atrai (puxa) o elétron(-), da eletrosfera, permanecendo os nêutrons (sem carga elétrica) indiferentes. Mas isso não era o que se passava no mundo atômico!

Isaac Newton, portanto, estava em sérias dificuldades. Com efeito, a física clássica encontrava insuperáveis obstáculos para explicar o mundo do interior do átomo e de suas partículas, o mundo quântico, subatômico. Assim, essa busca pelos tijolos fundamentais da matéria acabaria por solapar os fundamentos da física clássica. Precisaríamos de uma nova física, da física quântica.

Embora não tenhamos a pretensão de discorrer sobre a física quântica, algumas palavras gerais devem ser ditas sobre seu mecanismo de funcionamento. De acordo com o físico Michio Kaku (1947-)[11], a física quântica baseia-se em três princípios fundamentais: o primeiro, o de que a energia é encontrada em pacotes distintos, chamados “quanta”; o segundo, o fato de que a matéria está baseada em partículas pontuais, mas a probabilidade de encontrá-las é dada por uma onda, que obedece à equação de onda de Schrödinger e, finalmente, o terceiro, o fato de que a medida (observação) é necessária para colapsar a onda e determinar o estado final de um objeto. Hum... Muito estranho, não! Tão estranho que uma das maiores autoridades em física quântica de todos os tempos, o genial Richard Feynman (1918-1988), costumava brincar dizendo que ninguém entendia a mecânica quântica e outro de seus grandes nomes, Niels Bohr (1885-1962), costumava dizer que quem não ficasse chocado com ela era porque não a tinha entendido [Tiradas como essas também ocorreram nos anos 1920, quando um repórter se dirigiu a Arthur Eddington (1882-1944) indagando-lhe: - Dizem que só três pessoas no mundo entendem a Teoria da Relatividade de Einstein! Eddington parou um instante pensativo e respondeu: - eu estou a imaginar quem seria a terceira pessoa]!

Um dos responsáveis pela passagem do átomo clássico ao átomo quântico foi justamente Niels Bohr. Em 1913, ele já podia contar com os estudos de Max Planck (1858-1947) e os aproveitou para explicar a movimentação dos elétrons ao redor do núcleo. Com efeito, em 1900, Planck havia descoberto que os átomos não podiam receber ou emitir energia de modo contínuo, infinitesimal, mas em pacotes (pacotes de energia), chamados de “quanta” (daí a consagração do termo, na física, de física quântica, ou mecânica quântica, em oposição à física clássica, ou mecânica clássica). Planck percebeu que, ao aquecermos ou resfriarmos um pedaço de matéria, essa matéria iria emitir ou absorver energia térmica em pacotinhos. A partir dessas noções, Bohr propôs que os elétrons se moviam na eletrosfera em órbitas

bem definidas (os orbitais). Fazendo uma comparação com as rotas dos aviões, é como se cada elétron tivesse uma aerovia própria em que navegasse. Movimentando-se nessa aerovia (nesse orbital), ele não emitiria nem absorveria energia, porém, ao passar de um órbita para outra, ele emitiria ou absorveria uma determinada quantidade (pacote) de energia – o “quantum” ou “quanta” (“quantum” em latim significa uma porção de algo. Seu plural é “quanta”). Ao receber (absorver) o pacote de energia (quantum) do exterior, energia essa que poderia ser térmica (calor), elétrica (eletricidade) ou luminosa (luz), o elétron mudaria de orbital, passando de uma órbita mais próxima do núcleo para uma órbita mais distante. Quando retornasse para a órbita mais interna, emitiria (devolveria) o pacote “quantum” de energia recebido, produzindo, assim, uma forma de luz de cor bem definida, ou outra radiação eletromagnética, como radiação ultravioleta ou raios X.

Surgia, então, em 1913, o modelo atômico de Rutherford-Bohr. O século XX inaugurava, assim, novos e surpreendentes desafios para a física, com a entrada em cena da física quântica, de Max Planck (1858-1947), De Broglie (1892-1987), Heisenberg (1901-1976), Schrödinger (1887-1961), Niels Bohr (1885-1962), Max Born (1882-1970), Paul Dirac (1902-1984) e muitos outros.

A partir da física quântica, descobriu-se que o elétron ora se comportava como uma onda, ora se comportava como uma partícula, e se passou a trabalhar com a ideia de probabilidade de localização da zona em que o elétron se encontraria. Eles ficariam espalhados em uma nuvem de probabilidade de forma bem definida ao redor do núcleo do átomo.

E isso era só o começo. A física clássica entrava em ebulição e nem a nova proposta de Albert Einstein foi suficiente para lhe conter os abalos. Assim, em vez de se falar em partículas cujas posições e tempo podem ser calculados milimetricamente, a nova linguagem passaria a ser probabilidades e funções de onda.

E hoje, o que se busca, para além da física quântica, é a superação do modelo. Está-se em busca de uma teoria unificada para a física. É que os modelos que aí estão são insuficientes para explicar toda a dinâmica do mundo subatômico.

As partículas fundamentais do Universo

Hoje se sabe que nem prótons, nem nêutrons podem ser considerados partículas fundamentais da matéria (os elétrons podem)! Os estudos sobre partículas ainda menores são a fase atual da ciência. Com efeito, cientistas descobriram que prótons e nêutrons são formados por partículas ainda menores chamadas de quarks. Aí entra em cena outro grande físico teórico, responsável por estudos importantes acerca do mundo subatômico, o nova-iorquino Murray Gell-Mann (1929-). Ele concebeu o termo hoje consagrado "quark" para partículas ainda menores que os prótons e nêutrons.

Esse campo de estudos é bastante árido, pois exige, para sua comprovação, gigantescos laboratórios e equipamentos, como os três famosos aceleradores de partículas instalados em Stanford, na Califórnia, no Fermilab, perto de Chicago, e no CERN, nas proximidades de Genebra, na Suíça. Através de imensos túneis subterrâneos magnetizados, esses laboratórios aceleram partículas atômicas, como prótons e elétrons, a velocidades próximas à da luz e as fazem colidir umas contra as outras em busca de desvendar os mistérios dos tijolos fundamentais da matéria.

A teoria atual acerca do mundo subatômico é chamada de "Modelo Padrão". Nele encontra-se tudo o que sabemos hoje sobre os tijolos fundamentais da matéria. De acordo com esse modelo, as partículas fundamentais da matéria podem ser agrupadas em duas classes: os quarks e os léptons. São seis os quarks: up, down, charm, strange, top e botton. Também são seis os léptons: o elétron, o múon, o táu e seus respectivos neutrinos, o neutrino do elétron, o neutrino do múon e o neutrino do táu. Para cada partícula dessas, existe uma correspondente antipartícula, com a mesma massa, mas com carga elétrica contrária (a antipartícula é uma partícula com a carga elétrica contrária).

Já vimos que o elétron, de acordo com o modelo padrão, foi descrito como uma das partículas fundamentais, classificado como um dos léptons. Onde estão, então, os prótons e os nêutrons? Na verdade, quarks são as partículas fundamentais que formam os prótons e os nêutrons. Assim, dois quarks up e um quark down formam um próton.Um próton, portanto, consiste em dois quarks up, cada um com carga elétrica positiva de dois terços, e um quark down, com carga negativa de um terço. É por isso que o próton possui carga elétrica positiva igual a 1 ($2/3 + 2/3 = 4/3$. $4/3 – 1/3 = 3/3 = 1$).Já o nêutron consiste em dois quarks down, cada um com carga elétrica negativa de um terço e um quark up, com carga elétrica positiva de dois terços. Assim, $-1/3 + (-1/3) + 2/3 = -1/3 -1/3 + 2/3 = -2/3 + 2/3 = 0$ e, por isso, o nêutron não possui carga elétrica.Vimos que, embora existam seis espécies diferentes de quarks (up, down, charm, strange, top e botton), somente dois (up e down) formam os prótons e os nêutrons. Isso ocorre porque os quarks charm, strange, top e botton só teriam existido no universo primordial a altíssimas temperaturas e hoje eles só são detectados nos aceleradores de partículas.

Por outro lado, partículas, como o múon e o táu, têm existência bastante efêmera, milhões de vezes menor do que um segundo, aproximadamente.

As forças elementares do Universo e as partículas que as unem

As partículas subatômicas interagem entre si e nelas atuam as únicas quatro forças que existem na natureza: a gravidade, o eletromagnetismo e as forças nucleares forte e fraca. Na época de Einstein, só se conhecia a existência de duas forças na natureza: a gravidade e o eletromagnetismo. Hoje se sabe que há mais duas outras forças, a força nuclear forte e a força nuclear fraca.

As duas forças mais conhecidas são a gravidade e o eletromagnetismo. Em nosso livro, vamos dar ênfase especial à gravidade, porque ela é a força mais importante para o estudo do Universo em larga escala, pois é ela que é responsável pela manutenção de toda essa estrutura de planetas, luas, estrelas e galáxias em equilíbrio. Por agora, é suficiente que saibamos que pela força da gravidade, corpos com massa são capazes de atrair outros corpos, ou seja, massas atraem massas.

A outra força mais conhecida é a força eletromagnética. Essa força atua nas partículas que possuem carga elétrica e é responsável por manter os elétrons orbitando os prótons, por causa da atração entre suas cargas elétricas opostas, sendo responsável também pelas ligações químicas entre os átomos, formando moléculas. Ela é mais conhecida em nosso mundo por ser a força responsável pelas transmissões das ondas eletromagnéticas, das ondas de rádio e de TV, da internet, do telefone, dos raios de luz, etc.

As duas forças menos conhecidas e as que demoraram mais tempo para serem descobertas são as forças nucleares forte e fraca. Como os próprios nomes indicam, só atuam no interior do núcleo do átomo. Pela força nuclear forte, que atua entre os quarks, prótons, mesmo tendo a mesma carga elétrica(+), mantêm-se juntos no interior do núcleo atômico. Vale dizer que, a atuação da força nuclear forte impede a repulsão eletrostática existente entre os prótons, ou seja, a força nuclear forte é responsável por manter os quarks unidos dentro do próton e do nêutron e, também, por manter unidos os próprios prótons e nêutrons no interior do núcleo atômico.

Já a força nuclear fraca é a responsável pela radioatividade. Ela controla o decaimento radioativo de vários átomos, ou, mais precisamente, dos núcleos atômicos (hodiernamente, descobriu-se que, assim como a força elétrica e a magnética fazem parte de uma única força – a força eletromagnética, a força fraca e a eletromagnética podem ser unificadas numa única força – a força eletrofraca).

Comparativamente, poderíamos dizer que, enquanto a força nuclear forte é responsável pela estabilidade e união da matéria, a força nuclear fraca é responsável pela sua desintegração. Também é verdadeiro dizer assim: enquanto que a força forte é responsável pela estabilidade do núcleo do átomo, a força fraca é responsável por sua “desestabilidade”.

Para cada uma dessas quatro forças da natureza, existe uma partícula de força associada chamada de bóson. O bóson, portanto, também é uma partícula elementar do Universo, só que responsável pela interação entre as forças da natureza.

A partícula da força nuclear forte é o glúon. Ela circula entre os quarks e é responsável por mantê-los unidos (glúon vem do inglês *glue*, que significa cola).

Da força nuclear fraca são os bósons (W e Z).

Da força eletromagnética é o fóton.

Da gravidade, o gráviton.

Assim como o fóton constitui-se a partícula ultramicroscópica transmissora da força eletromagnética, suspeita-se que o gráviton seja a partícula transmissora do campo gravitacional. O gráviton, porém, ainda carece de detecção em laboratório. Quando confirmado experimentalmente, será a resposta para um problema que atormentara Newton, o da ação a distância. É que, na época, Newton não conseguiu explicar como a ação da gravidade de um corpo agia instantaneamente sobre outro corpo. Hoje se sabe que essa informação não é instantânea, pois tem de obedecer ao limite da velocidade de propagação da luz no vácuo, que é de 300.000 Km/s. Assim, se desligássemos a gravidade entre a Terra e o Sol, só

iríamos sentir esse efeito, com a Terra vagando perdida pelo espaço sideral, após oito minutos.

Recapitulando, vimos que, pelo modelo padrão da física das partículas, o Universo é composto de dois grupos de partículas de matéria e de um grupo de partículas de forças, sendo todas essas partículas elementares, fundamentais ou indivisíveis. Os dois grupos de partículas da matéria são os quarks e os léptons. São seis os quarks: up, down, charm, strange, top e botton. Também são seis os léptons: o elétron, o múon, o táu, o neutrino do elétron, o neutrino do múon e o neutrino do táu. Já o grupo de partículas de forças é formado pelo glúon, pelo bóson (W e Z), pelo fóton e pelo gráviton.

A partícula fundamental seria uma corda?

De acordo com a Teoria das Cordas, a partícula fundamental, indivisível, do Universo não consiste em um ponto, como se defende no modelo padrão. Consiste em um pedacinho extremamente fino, rígido e minúsculo, de uma corda que vibra. O ponto final da matéria não seria um “ponto”, mas sim um pequeno lacinho, um pedacinho de uma corda, fechado ou aberto.

Para entender isso, faça a seguinte experiência: compre em uma farmácia o fio dental mais fino disponível no mercado. A seguir, pegue uma tesourinha e faça várias tentativas de cortar o menor pedaço possível que sua habilidade permita. Imagine esse pedacinho como a matéria indivisível. Esse seria o formato da estrutura fundamental da matéria. Você teria chegado ao fundo do poço, onde simplesmente não poderia mais haver subdivisão da matéria. Só que, na realidade, a corda da Teoria das Cordas teria uma dimensão infinitamente menor do que o pedacinho de corda que você conseguiu cortar, mais precisamente essas cordas teriam o comprimento da distância de Planck (10-33 cm), isto é 100 bilhões de bilhões de vezes menor do que o núcleo de um átomo.

Assim, se dispuséssemos de um microscópio ultrapotente (que atualmente só existe na nossa imaginação), capaz de visualizar um quark ou um elétron de perto, aquilo que, a distância, achávamos se tratar de um ponto, visto desse microscópio imaginário, assumiria a forma de uma corda, uma corda que estaria sempre vibrando, vibrando em diferentes padrões. O que daria forma diferente à matéria seria o tom (ou o padrão) da vibração. A corda seria a mesma, embora a partícula resultante fosse diferente. O que faz a partícula ser diferente (um quark, um elétron, um glúon, um neutrino, etc) não é a corda, mas a maneira como a corda vibra. Tons ou padrões de vibração diferentes nas cordas é que produzem os diferentes tipos de partículas de matéria ou de força encontradas na natureza.

Chegamos, então, ao final deste capítulo, sabendo que toda a matéria que compõe este nosso Universo infinito é representada por diferentes combinações dos 92 átomos que existem na natureza. Soubemos, também, que esses átomos são compostos, interiormente, por prótons, nêutrons e elétrons. Aprendemos, por fim, que prótons e nêutrons são compostos por partículas ainda mais fundamentais e descobrimos que essas partículas talvez possam ter a forma de cordas e não de pontos. Agora vamos começar a fazer a ligação entre esse mundo microscópico com o Universo como um todo, com suas grandes estruturas. Aí vão entrar em cena dois grandes físicos, responsáveis por fazer essa ligação, Isaac Newton e Albert Einstein. Vamos, a partir de agora, mergulhar na alma e na cabeça desses dois gigantes.

---

1 Há divergência entre os autores em torno dessa data.
2 Exemplo disso é o seriado de TV infanto-juvenil “Avatar”, de enorme sucesso no mundo todo, inclusive no Brasil.
3 No campo das relações sociais, informa Manuel Soares Bulcão Neto (A Eloquência do ódio. São Paulo: LivroPronto, 2009, p.69) que Aristóteles, em sua obra “Política”, procurou demonstrar que a escravidão era um fenômeno “natural”, cujo fundamento não residiria apenas na força, mas em uma “diferença de espécie”.
4 No espaço, não se consegue ouvir barulhos, porque não há como o som se propagar; no planeta Mercúrio, não conseguiríamos ouvir a voz um do outro, porque não há atmosfera.
5 Estamos falando da matéria bariônica, que é a matéria comum. Faremos breve menção à matéria escura nos dois últimos capítulos
6 Com os modernos aparelhos de espectrômetro de massas, conseguimos medir a massa de um átomo.
7 Informou-me o físico brasileiro Cláudio Lenz Cesar que hoje, com armadilhas para íons iluminados por laser, já se pode ver o átomo a partir da luz espalhada por ele.
8 O hidrogênio é tão singelo que é o único caso na natureza de um átomo que não possui nêutron em seu núcleo.
9 O hélio foi o único elemento químico descoberto no Sol (em 1870, por Norman Lockyer) antes de ser descoberto na Terra.
10 As cargas elétricas positiva para o próton e negativa para o elétron são atribuídas por convenção.
11 *Mundos paralelos*, p. 152.

Capítulo II

Os precursores de Isaac Newton e Albert Einstein

OS PRINCIPAIS PERSONAGENS deste livro são considerados os dois maiores físicos de todos os tempos: Isaac Newton e Albert Einstein. Eles não foram escolhidos simplesmente por esse fato, mas por causa da importância de suas teorias para o entendimento da história do Universo, objetivo principal deste livro. Newton é o pai da Teoria da Gravitação Universal. Foi ele o responsável pela união da mecânica terrestre à mecânica celeste.[1] Einstein é, por sua vez, o pai da Teoria da Relatividade. A Teoria da Relatividade é uma nova teoria da gravitação, que superou a teoria newtoniana. Entretanto, não podemos começar diretamente com o que ensinaram Newton e Einstein sem examinar seus precursores, que permitiram que construíssem suas teorias. É isso que pretendemos fazer neste capítulo.

O longo caminho até Newton e Einstein

A envergadura intelectual de Newton e de Einstein é medida pelo legado científico que deixaram para toda a humanidade. Isso jamais pode ser esquecido, apesar dos comentários apimentados a serem feitos mais adiante nesse livro, mas apenas no sentido de não repetir elogios comuns, deificando-os, e também para torná-los mais próximos de nós, seres humanos imperfeitos. Todavia, jamais teriam logrado alcançar o patamar de gênios absolutos da história da ciência sem que tivessem apoiado suas obras nos trabalhos de seus antecessores. Foram eles que pavimentaram o caminho e prepararam o terreno para que tanto um quanto o outro pudessem brilhar, como brilharam. Isso, aliás, faz parte da história da ciência: os avanços do presente são consequência dos trabalhos do passado. Quando você vê um computador portátil de última geração exposto em uma loja, pode ter certeza de que o que você está vendo ali é fruto de pelo menos cinco mil anos acumulados de "cultura". Newton reconheceu, quanto a seu legado, que, se enxergara mais longe, foi porque estivera apoiado sobre os ombros de gigantes. E Einstein afirmou que, em ciência, o trabalho de pessoas individuais está tão ligado aquele de seus precursores e contemporâneos que parece ser quase um produto impessoal de sua geração.

Por outro lado, como dissemos no início do livro, não se pode atribuir somente à cultura ocidental os louros do progresso científico. No campo da matemática, por exemplo, sabe-se que o número "zero", fundamental para o progresso desse ramo do saber, foi inventado pelos indianos. Se o mundo ocidental, por sua vez, tivesse dado ouvidos aos astrônomos indianos Aryabhata e Brahmagupta, teria rejeitado, desde o século V e VI da era cristã, o sistema aristotélico e ptolomaico. Aryabhata, por sinal, antecipou-se a Kepler em pelo menos mil anos, ao escrever que as órbitas dos planetas em torno do Sol deveriam ser elípticas. No mundo islâmico, no século XI, enquanto que o muçulmano Abu Rayhan al-Biruni conseguiu medir o raio da Terra (para ele era de 6.339,6 Km, um erro de apenas 16,8 Km da medida atual), nós, ocidentais, só conseguimos fazê-lo no século XVI. Ele também afirmou que não havia razão técnica para se descartar o modelo heliocêntrico nem para assegurar que as órbitas dos planetas eram circulares e não elípticas, em uma antecipação espetacular da contribuição de Kepler. Já Avicena (em árabe Ibn Sina), nascido no ano de 980 d.C. e morto em 1037, considerado por muitos como um dos maiores intelectos muçulmanos, propôs, mais de seiscentos anos antes de Galileu, que um corpo deveria permanecer parado ou em movimento com velocidade constante, a menos que atuasse uma força externa sobre ele.

Mas, de fato, nossas raízes ocidentais identificam a Grécia Antiga[2] como o alvorecer do conhecimento científico da história da humanidade e parece que foi mesmo, ao menos no que diz respeito ao aspecto do método científico de observação e investigação. Foi através desse método que os gregos, como Parmênides, nascido cerca de 515 a.C., descobriram que a Terra era uma esfera, tese sustentada posteriormente por Aristóteles. Conta-se que eles perceberam que a Terra era esférica observando os navios desaparecendo no horizonte, com o mastro sumindo aos poucos e, também, constatando a forma esférica da sombra da Terra lançada sobre a Lua nos eclipses lunares. Aliás, além de haver descoberto a esfericidade terrestre, Parmênides também foi o primeiro a descobrir que a Lua era iluminada pelo Sol.

Percebe-se, claramente, com os gregos antigos, um esforço coletivo consciente no sentido de tentar superar a explicação dos fenômenos terrestres fornecidos pela religião e pelos deuses, com apelo ao sobrenatural. Contudo, para eles, todo o Universo resumia-se ao Sistema Solar e às estrelas fixas, com a Terra ocupando seu centro.

A matemática, que hoje é a linguagem da física, e, por conseguinte, da própria cosmologia moderna, deve grandes progressos aos gregos, sobretudo com as contribuições dos matemáticos Euclides (c.330-275 a.C.) e Arquimedes (c.287-212 a.C.), especialmente na parte da geometria. Euclides, matemático grego que viveu em Alexandria[3], no Egito, durante o reinado de Ptolomeu I (323-283 a.C.), escreveu treze volumes (capítulos) dos "Elementos" de matemática, em que compilou e sistematizou todo o

conhecimento matemático conhecido até então, sendo a geometria euclidiana até hoje a ensinada nas escolas em todo o mundo até o ensino superior. Exemplo eloquente desse estudo está consagrado no clássico teorema de Pitágoras (o quadrado da hipotenusa de um triângulo retângulo é igual à soma dos quadrados dos catetos). E é fazendo uso da geometria euclidiana que se pode calcular até hoje a distância para as estrelas mais próximas. Já Arquimedes, seu sucessor, que é considerado o maior matemático da Antiguidade e, seguramente, um dos maiores que o mundo já produziu, deu grandes contribuições não só à matemática, mas também à física e à engenharia. Todavia, ele ficou mais conhecido, folcloricamente, pelo fato de ter saído nu pelas ruas de sua cidade natal, Siracusa, antiga colônia grega situada na região da Sicília, na Itália, gritando "Heureca! Heureca!", após haver feito uma descoberta científica enquanto tomava banho em uma banheira.

No âmbito da cosmologia, entretanto, vivemos uma ilusão científica que durou aproximadamente 1.500 anos. Por volta do ano 150 de nossa era, o matemático e astrônomo alexandrino Cláudio Ptolomeu (c.100-170 d.C.), considerado o maior astrônomo da Antiguidade, escreveu um grande tratado, composto de treze volumes, destinado a durar para a eternidade, e que ficou conhecido pelo nome de Almagesto, "provando", assim como ensinara Aristóteles, que a Terra era o centro do Universo e que o Sol, a Lua e os planetas conhecidos de então giravam em órbitas circulares ao seu redor.

Essa obra exerceu uma profunda influência no Mundo Antigo e atravessou incólume toda a Idade Média. O historiador da ciência John North[4] afirma que Ptolomeu não teve rival até que surgisse Kepler, analisando as observações de Tycho Brahe. Outro historiador da ciência, Helge Kragh[5], afirma que o Almagesto representou o ponto culminante da astronomia grega, assim como Os Elementos, de Euclides, marcaram o da geometria. Edward Harrison[6] concorda, ao dizer que Cláudio Ptolomeu (do museu de Alexandria) fez pela astronomia o que Euclides (do mesmo museu) fizera séculos antes pela geometria.

A observação empírica e leiga coaduna-se com a visão ptolomaica. De fato, para um observador na Terra que não tenha nenhuma noção de geografia ou cosmologia, ao ver o Sol nascer todo dia em um determinado ponto do horizonte e, após se deslocar em sentido oposto, pôr-se do outro lado, deduz facilmente que a Terra é fixa e que é o Sol que se movimenta a seu redor. Ledo engano!

Bem que poderíamos ter dois sóis em nosso Sistema Solar. Aí poderíamos nunca ver a noite e faríamos muita confusão entre leste (oriente), onde nosso Sol nasce e oeste (ocidente), onde ele se põe. Isso, cosmologicamente falando, não é nenhum absurdo, assim como era perfeitamente possível que a Terra tivesse duas ou mais luas, como outros planetas têm.

Ptolomeu conseguiu ainda "provar" que a Terra não se movimenta, argumentando que quando uma pessoa dá um salto, cai sempre no mesmo lugar. Se a Terra girasse, quando a pessoa pulasse, deveria cair em um local um pouco mais afastado daquele em que deixara o solo.[7] Mais tarde, o francês Pierre Gassendi (1592-1655) deixou cair uma pedra do mastro de seu barco em movimento, caindo ela sempre na vertical dentro do barquinho, provando dessa forma o erro de Ptolomeu. O erro consistia no fato, não levado em conta por Ptolomeu, de que a Terra se movimenta junto com a pessoa que dá o salto ou com o barquinho que navega no mar.

O sistema geocêntrico ptolomaico só foi desconstruído aos poucos, a partir da Renascença, com os trabalhos sucessivos de Nicolau Copérnico (1473-1543), Johannes Kepler (1571-1630) e Galileu Galilei (1564-1642), muito embora um pouco antes disso, no final da Idade Média, um ou outro se negasse a acreditar no sistema ptolomaico, como foi o caso, por exemplo, do filósofo alemão Nicolau de Cusa (1401-1464) que, em torno de 1444, passou a advogar teses muito avançadas para a época, como a de que a Terra girava em torno do Sol, a de que muitas das estrelas que vemos no firmamento possuem planetas em órbita delas e são semelhantes ao Sol e a de que o espaço era infinito e não possuía borda ou centro, todas ideias absolutamente verdadeiras para os dias de hoje, embora não parecessem naquele século XV. E também embora, mesmo na Grécia Antiga, houvesse quem advogasse o modelo heliocêntrico. Com efeito, Heráclides (c.490-430 a.C) advogou a estranha tese de que os planetas

Mercúrio e Vênus orbitavam o Sol (o que é correto), mas, ao mesmo tempo, defendia que o Sol orbitava a Terra (o que é falso). Foi ele provavelmente o primeiro astrônomo a defender que a Terra girava em torno do próprio eixo.

Outro grande astrônomo grego foi Aristarco (c.310-230 a.C.), conhecido como o Copérnico do Mundo Antigo. No século III antes de Cristo, Aristarco também advogou que a Terra dava uma volta em torno de seu eixo diariamente e, o mais importante, que ela girava em torno do Sol uma vez por ano. Aristarco, portanto, pode ser considerado o primeiro astrônomo a defender o heliocentrismo.

Depois de Aristarco, poucos astrônomos sustentaram essa hipótese. Um desses foi Selêucus, que viveu na metade do século II antes de Cristo e que, mais ou menos oitenta anos após Aristarco, também advogava o modelo heliocêntrico.

Nossa civilização, entretanto, ainda não estava madura para aceitar a novidade da hipótese heliocêntrica e o pensamento grego permaneceu arraigado às ideias que Aristóteles impusera tempos atrás, refratárias aos conceitos trazidos por Aristarco.

A diferença fundamental entre o pensamento daqueles que se anteciparam a Copérnico, Kepler e Galileu residia no método. É que, enquanto Aristarco e Nicolau de Cusa, por exemplo, permaneceram apenas no plano conceitual (das ideias), os outros três cientistas do Renascimento utilizaram observações detalhadas e meticulosas e procuraram submeter suas hipóteses ao teste da experimentação e à linguagem matemática, tentando dessa forma provar suas assertivas. Estava sendo inaugurado assim um novo método. O método científico.

Nicolau Copérnico, polonês, defendia a hipótese de que o Sol, e não a Terra, era o centro do Universo (Universo, àquela época, lembremos, limitava-se ao Sistema Solar) e de que a Terra e os demais planetas conhecidos, ou seja, Mercúrio, Vênus, Marte, Júpiter e Saturno, descreviam órbitas circulares em torno do Sol, tudo conforme seu livro Sobre as revoluções das esferas celestes, publicado em 1543, mesmo ano em que veio a falecer. Em virtude dessa tese contrariar o pensamento central da Igreja Católica, em 1616 seu livro foi incluído no Index Librorum Prohibitorum, o Índice dos Livros Proibidos. Embora, conforme vimos, seu pensamento não tenha sido inédito, entrou para a posteridade como a revolução copernicana, e o fato estabelecido de a Terra não ocupar o centro de Universo, como o princípio copernicano.

Por essa época, o monge italiano Giordano Bruno (1548-1600) foi submetido a processo penal inquisitivo pela Igreja Católica por apoiar e divulgar as ideias copernicanas, além de outras consideradas heréticas. Recusando-se a renegar suas crenças, passou seus últimos sete anos em prisão eclesiástica, onde foi torturado. Finalmente, em 1600, foi queimado numa praça pública em Roma pela Inquisição.

Johannes Kepler, alemão, utilizando-se dos dados obtidos durante vinte anos pelo astrônomo dinamarquês Tycho Brahe (1546-1601), e após muito sofrer acreditando que os movimentos planetários obedeciam a órbitas circulares, aperfeiçoou o sistema copernicano, estabelecendo que as órbitas planetárias ao redor do Sol formavam uma elipse e não uma circunferência.

Kepler pôde constatar, ainda, que o Sol não ocupava exatamente o centro da elipse e era mais próximo de uma de suas bordas. Essa, que acabou por se tornar a mundialmente conhecida primeira Lei de Kepler, foi publicada em 1609 em sua obra “Astronomia Nova”.

Além disso, nesse mesmo livro, comprovou que os planetas percorriam áreas iguais em intervalos de tempos iguais, aumentando sua velocidade ao se aproximarem do Sol e diminuindo, ao se afastarem dele (isso por causa da força gravitacional, na época ainda um mistério)! Essa seria a segunda Lei de Kepler.

Por último, em sua terceira lei, publicada em 1618, em sua obra “Harmonices Mundi”, deduziu que quanto maior a órbita de um planeta em torno do Sol, menor é sua velocidade. De fato, se nós pegarmos o planeta Mércurio, por exemplo, o mais próximo do Sol, sua velocidade é em torno de 160.000 Km/h. Já Plutão possui uma velocidade dez vezes menor. Na época, Kepler não sabia, mas isso também se explica

pelo efeito da gravidade, que diminui de intensidade com o quadrado da distância.

Kepler seria considerado mais tarde o maior gênio científico antes do aparecimento de Newton.

Galileu Galilei, italiano, foi outro que se opôs ao sistema aristotélico e ptolomaico, apoiando as teses de Copérnico em sua obra principal, Diálogo sobre os dois grandes sistemas do mundo (Ptolomaico e Copernicano), publicado em 1632, entendendo que a Terra e os cinco demais planetas conhecidos à época perfilhavam órbitas circulares em torno do astro-rei. Suas ideias lhe custariam caro, pois teve de enfrentar um processo penal inquisitivo pelo crime de heresia, patrocinado pela Igreja Católica, que acabou por condená-lo em 1633 a passar o resto de sua vida em prisão domiciliar, apesar dele ter voltado atrás, desdizendo suas crenças e jurando, dali em diante, fidelidade e obediência aos dogmas religiosos.

Assim, a ruptura do monopólio da ciência pela religião não se fez sem traumas. Para isso, alguns tiveram de pagar com a vida (Bruno) ou com a liberdade (Galileu).

Através da experimentação, Galileu comprovou que dois corpos de pesos (massas) diferentes caem juntos quando largados da mesma altura, desde que se desprezasse a resistência do ar.[8] A experiência de dois corpos caindo da Torre de Pisa, atribuída a Galileu e que possivelmente nunca ocorreu, fora feita anteriormente por Simon Stevinius (1548-1620) do alto de uma construção equivalente.

Antes da experiência de Stevinius, estudiosos, como Philoponus, de Alexandria, no século VI, Jean Buridan, professor em Paris, Robert Grosseteste e Roger Bacon, já haviam predito que corpos com pesos diferentes caem com a mesma aceleração. Até o famoso pintor e cientista italiano Leonardo da Vinci (1452-1519) advogou esta mesma hipótese.

Galileu foi um dos primeiros cientistas a apontar um telescópio para o céu (o primeiro teria sido o inglês Thomas Harriot, 1560-1621) e dele retirar conclusões interessantes, registrando descobertas completamente inovadoras e surpreendentes para o seu tempo. Embora não tenha inventado o telescópio (essa invenção é atribuída a um fabricante de lentes, o holandês Hans Lippershey, no ano de 1608), aperfeiçoou-o bastante, criando o próprio modelo e aumentando sua capacidade. Também, enquanto que os primeiros telescópios eram utilizados essencialmente para fins militares, Galileu e Thomas Harriot tiveram a ideia de apontá-lo para o céu.

As descobertas feitas por Galileu através de seu telescópio são, sem dúvida, um dos maiores avanços pelos quais a ciência passou. São um daqueles impulsos que demoram a aparecer e que provocam uma verdadeira revolução na maneira de ver o mundo. Ao direcionar o telescópio para o céu, descobriu que a Lua continha vales e montanhas, que o Sol possuía manchas, que Júpiter tinha luas e que Saturno tinha anéis.

O físico Freeman Dyson (1923 -)[9] classifica as revoluções científicas em dois tipos: revoluções por conceitos e revoluções por instrumentos. Dos causadores das revoluções por conceitos lembra os nomes de Copérnico, Newton, Darwin, Maxwell, Freud e Einstein. Das revoluções por instrumentos, lembra a provocada por Galileu, com seu telescópio, e a de Watson e Crick, decorrente do uso da difração de raios X, que acabou por desvendar a estrutura interna em dupla hélice de nosso código genético, o DNA.

Deve-se fazer um breve registro da contribuição de outros dois eminentes cientistas. O primeiro é o inglês William Gilbert (1544-1603). Após o trabalho de Copérnico, sabia-se que os planetas giravam em torno do Sol, mas não se tinha ideia de a que se atribuir isso e porque isso acontecia. Em 1600, Gilbert propôs que deveria haver uma força que fizesse que os planetas pudessem manter-se em órbita ao redor do Sol. Ele só errou no tipo de força, que à época atribuiu a uma espécie de força magnética, mas acertou em cheio no conteúdo (tinha de haver uma força)! O outro foi Robert Hooke (1635-1703), natural da Inglaterra e contemporâneo de Newton. Ele teria concebido a própria ideia central da Teoria da Gravitação antes de Newton e por isso vai acusá-lo de tê-la omitido no Principia.

Há quem diga também que dois outros pensadores bem menos conhecidos se teriam antecipado às ideias da gravitação: Jeremiah Horrocks (1618-1641), inglês, que teria mostrado que a Lua se

movimentaria em órbita elíptica ao redor da Terra e que distorções no movimento da Lua deviam-se à influência do Sol e que também os planetas perturbariam as órbitas uns dos outros. O outro foi o italiano Giovanni Borelli (1608-1679), que teria especulado sobre a natureza da gravidade do Sol, acreditando que as órbitas dos planetas estariam ligadas a uma conjugação de três forças ligadas ao Sol. Não se sabe, entretanto, até que ponto essas ideias ou especulações influenciaram, se é que influenciaram, o pensamento de Newton, ou se lhe serviram de inspiração de alguma forma.

Já que estamos falando dos precursores de Newton e de Einstein, vamos, por agora, pular o próprio Newton para chegar a Einstein e seus precursores mais diretos. Aqui vamos alargar um pouco o conceito de precursores para incluir também seus contemporâneos, dos quais de alguma forma ele possa ter se servido. Para isso, vamos começar voltando ao mundo da matemática. Assim, voltando à matemática e lembrando de que Einstein foi muito mais físico do que matemático, para desenvolver a Teoria da Relatividade, teve de aplicar outro tipo de matemática, inédita até então. A matemática clássica da época era a euclidiana, que se prestava a lidar com cálculos de até três dimensões. Como Einstein precisava lidar com quatro dimensões (três dimensões para o espaço – comprimento, altura e largura - e uma para o tempo) em sua nova teoria do espaço-tempo curvo quadridimensional, teve que se servir das contribuições de grandes luminares da matemática de sua época e da anterior para poder chegar ao resultado que chegou. Sem a contribuição desses gênios da matemática, muitos dos quais tendo vivido e morrido no ostracismo, não vendo reconhecidos seus justos valores, a física de Einstein não teria sido concebida por ele. Eles foram e aqui faço o registro em suas homenagens, principalmente, Johann Carl Friedrich Gauss (1777-1855), János Bolyai (1802-1860), Nikolai Ivanovich Lobachevsky (1792-1856), Georg Friedrich Bernhard Riemann (1826-1866), Elwin Bruno Christoffel (1829-1900), Gregorio Ricci-Curbastro (1853-1925), Tullio Levi-Civita (1873-1941).

Houve mais físicos e matemáticos que, de modo direto ou indireto, foram fundamentais para que Einstein chegasse à sua teoria, como Michael Faraday (1791-1867) e James Clerk Maxwell (1831-1879), o próprio Newton, Ernst Mach (1838-1916), Max Planck (1858-1947), Hermann Minkowski (1864-1909), Hendrik Lorentz (1853-1928), George FitzGerald (1851-1901), Henri Poincaré (1854-1912) e David Hilbert (1862-1943), esse último, com quem trocou muitas correspondências, também chegou à Relatividade na mesma época, aparentemente por caminhos próprios. Por fim, seu amigo de turma, dos tempos da Politécnica de Zurique, Marcel Grossmann, que o ajudou com os difíceis cálculos da teoria e o apresentou à geometria de Riemann, que era a adequada para lidar com a relatividade de um espaço não-euclidiano, ou seja, um espaço que, ao invés de ser plano, era curvado. Com efeito, a geometria do Universo só será entendida no contexto da Teoria da Relatividade Geral, que adotou a geometria riemanniana.

Explico: a geometria de Euclides, aquela que aprendemos na escola, é destinada a se aplicar a espaços planos, como a folha deste livro. Nela aprendemos que a soma dos ângulos internos de um triângulo é igual a 180º. Mas na vida real, nem tudo é plano. Se fôssemos desenhar um triângulo sobre a superfície de nosso planeta, a soma dos ângulos internos desse triângulo resultaria maior do que 180º, porque a forma do planeta Terra é esférica. Dizemos, então, que ela possui uma superfície curvada positivamente. Entretanto, formas esféricas não são as únicas que existem na natureza. No interior de um vale, por exemplo, a forma se aproxima a de uma sela de um cavalo. Nessa forma, como se fosse uma esfera enfiada para dentro, a soma dos ângulos internos de um triângulo é menor do que 180º. Dizemos, então, que a superfície dessa forma é curvada negativamente. Foi esse novo tipo de geometria (de espaços curvados positiva e negativamente) que Riemann elaborou matematicamente e que Einstein aplicou à física da relatividade.

Enquanto Riemann deu a Einstein a matemática que ele iria empregar em sua teoria, Minkowski, que fora seu professor de matemática na Politécnica, demonstrou a realidade do espaço-tempo

quadridimensional. Assim, apesar da crença generalizada de que Einstein fora o primeiro a pensar no espaço e no tempo como uma só realidade física, isso não é verdadeiro. Esse mérito coube a Minkowski.

Como vimos, para se chegar à Teoria da Gravitação e da Relatividade, Newton e Einstein tiveram de se servir da contribuição de muitos cientistas anteriores a eles. É certo, contudo, e isso talvez seja o mais importante, que os ingredientes foram postos para ferver e cozinhar na cabeça de Newton e de Einstein, que produziram o resultado final. É esse resultado final que vamos apresentar no próximo capítulo.

---

1 De acordo com Aristóteles, a física terrestre (que se estendia da Terra até a Lua) era regida por uma lei diferente da que regia a física celeste (que se estendia para além da Lua). Os quatro elementos, terra, ar, água e fogo ocupariam a esfera terrestre e o éter a esfera celeste.

2 Enquanto a Grécia produzia cientistas, Roma produzia juristas.

3 Alexandria foi o maior centro de saber científico do Mundo Antigo, cidade que foi fundada por Alexandre, o Grande, em 332 a.C, e famosa por seu farol, uma das maravilhas da Antiguidade. Após a morte de Alexandre, um de seus generais, Ptolomeu, herdou a cidade e fez construir a maior e mais importante biblioteca de todo o mundo, a famosa biblioteca de Alexandria, que também abrigava um museu. Para lá convergiam vários sábios de todo o Mediterrâneo, como Euclides, Arquimedes, Aristarco e Ptolomeu, para estudar e ensinar. A imensa biblioteca foi destruída em um incêndio criminoso, onde foram queimados milhares de livros, uma perda incalculável para a humanidade, que causou o atraso, por centenas de anos, na evolução do conhecimento tecnológico e científico.

4 *Cosmos*, p. 118.

5 *Conceptions of cosmos*, p. 29.

6 *Cosmology*, p. 32.

7 Esse era um dos argumentos que Aristóteles empregou para defender que a Terra não se movia.

8 Aristóteles afirmava que dois corpos de pesos diferentes caem em tempos diferentes.

9 *Mundos imaginados*, pp. 43-44.

Capítulo III

Newton, Einstein e a Teoria Gravitacional

NESTE CAPÍTULO, VAMOS FALAR um pouco sobre a Teoria da Gravidade, como entendida por Newton, e a modificação que Einstein acrescentou nela, principalmente com sua Teoria da Relatividade Geral.

A física é a parte da ciência que estuda as forças e os movimentos, a matéria e a energia. A física, portanto, é responsável pelo estudo das propriedades do Universo. E, como estamos vendo neste livro, Newton e Einstein são considerados seus dois maiores expoentes.

O primeiro nasceu em Woolsthorpe, na Inglaterra, em 1642. Na matemática, inventou o cálculo integral e diferencial. Na física, destacou-se no campo da mecânica, o ramo da física que trata dos movimentos da matéria. Seu principal trabalho, Princípios Matemáticos da *Filosofia Natural* (naquela época, o que hoje chamamos de “Física” era chamado de “Filosofia Natural”), publicado em 1687, apresenta a Lei da Gravitação e as Leis do Movimento, prevendo, inclusive, o movimento dos planetas em torno do Sol.

Durante o ensino médio, somos apresentados até os dias de hoje às famosas três leis de Newton. Elas regem o comportamento dos objetos aqui na Terra, desde a queda de uma maçã, até os objetos celestes, como a órbita da Lua. Por isso é que são tão importantes para a compreensão da mecânica do Universo.

Já Einstein, o físico mais conhecido do mundo em todos os tempos, é o pai da Teoria da Relatividade, que inaugurou a cosmologia moderna. Na verdade, trata-se de duas teorias, a especial, de 1905, e a geral, de 1915/1916. Einstein nasceu em 1879 na cidade de Ulm, na Alemanha, e faleceu em 1955 em Princeton, nos Estados Unidos, aos 76 anos de idade.

É da Teoria da Relatividade Especial (1905), que Einstein propôs quando tinha 26 anos, que advém a famosa fórmula $E=mc^2$, ou seja, que a energia de uma quantidade de matéria com determinada massa é igual a essa massa vezes o quadrado da velocidade da luz. Dela se extrai que a matéria é energia armazenada (energia potencial) e que a energia pode transformar-se em matéria e vice-versa. Na criativa alegoria de Paul Hewitt,[1] pode-se pensar, então, na massa como uma energia “solidificada”. Ronald W. Clark,[2] por sua vez, afirma que toda massa é meramente energia congelada e toda energia é meramente massa liberada. A “intercambialidade” entre a massa e a energia é particularmente visível no mundo subatômico, em que a massa de uma partícula é geralmente medida em eletronvolts, que é uma medida de energia. Como o valor da velocidade da luz é extraordinariamente grande, isso implica que uma pequeníssima quantidade de matéria pode transformar-se em uma quantidade de energia assustadoramente grande. É isso que ocorre, basicamente, no processo de fissão nuclear que, como o próprio nome sugere, consiste na quebra do núcleo de um átomo, com a correspondente liberação de uma enorme quantidade de energia, forma usada na construção da bomba atômica.

Antes de falarmos acerca da Teoria da Relatividade Geral, que é a que mais nos interessa, porque foi ela quem revolucionou a Teoria da Gravitação de Newton, permita o leitor que façamos uma breve pausa para falarmos um pouco sobre as consequências da equivalência entre massa e energia, como consagrado na fórmula mais conhecida da física de todos os tempos, a equação einsteniana $E=mc^2$.

A energia do núcleo de um átomo, chamada de energia atômica, é obtida através de dois processos distintos: a fissão nuclear e a fusão nuclear.

Na fissão nuclear, são quebrados núcleos atômicos de elementos químicos pesados, como o urânio e o plutônio. Essa energia pode ser usada para fins bélicos, como a bomba de urânio, que foi jogada em

Hiroshima ou a bomba de plutônio, lançada sobre Nagasaki, por exemplo, ou para fins pacíficos, através da produção de energia pelas usinas nucleares.

Calcula-se que a energia envolvida no processo de fissão nuclear é de 100.000 a 1.000.000 de vezes maior do que a energia necessária para arrancar todos os elétrons de um átomo. Com efeito, a energia despendida nas ligações químicas, que se estabelecem com a troca ou o compartilhamento de elétrons que ocupam a última camada da eletrosfera, são milhões de vezes menores daquelas que envolvem reações que ocorram no interior do núcleo do átomo.

Nesse processo de fissão nuclear, os elétrons, que se localizam, obviamente, fora do núcleo, permanecem como meros espectadores, apenas assistindo a tudo passivamente, sem se envolverem, diferentemente do que ocorre no efeito fotoelétrico, explicado por Einstein em 1905 e que lhe rendeu o Prêmio Nobel, em que os elétrons que se encontram na superfície de uma placa metálica são facilmente arrancados dela quando são atingidos por um feixe de luz, podendo produzir com isso uma corrente elétrica.

Aliás, separar elétrons não é uma tarefa muito difícil. Na química, por exemplo, os átomos estão constantemente perdendo ou ganhando elétrons e transformando-se em íons. Na eletricidade, o que passa dentro do fio é a corrente elétrica, que não é nada mais nada menos do que um fluxo ou jato de elétrons (6,25 bilhões de bilhões de elétrons passam por segundo por um filamento de uma lâmpada de 100 watts).

No processo de fusão nuclear, por outro lado, são juntados (fundidos) núcleos atômicos de elementos químicos mais leves, como o hidrogênio. Essa energia também pode ser empregada para fins bélicos, como na bomba de hidrogênio (conhecida como bomba H, muito mais potente e letal do que a bomba atômica)[3] e, sonha-se, para fins pacíficos, através do desenvolvimento de uma tecnologia, ainda inexistente, que controle o processo de fusão nuclear. Esse processo de obtenção de energia é muito mais eficiente e menos poluente do que os que são empregados nos dias de hoje. Por exemplo, em relação à obtenção de energia pela queima do carvão, o processo de fusão nuclear é 1,5 milhão de vezes mais eficiente.

Quando a humanidade conseguir alcançar a meta de produção energética através de um processo controlado e seguro de fusão nuclear, teremos realizado um sonho antigo, que nos remete aos alquimistas da Idade Média, o sonho de transformar um elemento químico em outro. Teremos encontrado assim a pedra filosofal dos alquimistas, que teria o poder de transformar qualquer metal em ouro e pela qual muitos reis e rainhas foram enganados, enquanto que muitos dos estelionatários eram enforcados. A geração desse tipo de energia daria para resolver definitivamente o problema da escassez de fontes energéticas e diminuir a poluição do planeta. É só nos lembrarmos de quanta energia é gerada por esse mesmo processo, mas de forma natural, na transformação do hidrogênio em hélio pelo Sol.

Feita essa pequena digressão, vamos voltar à gravitação. Dez anos depois da Relatividade Especial, Einstein concebeu a Teoria Geral da Relatividade (1915), que revolucionou o entendimento sobre a gravidade e, por isso, pode ser considerada a Teoria Moderna da Gravitação. Entre outras previsões, de acordo com seus postulados, a presença da matéria deforma a geometria do espaço e altera o fluxo do tempo.

Enquanto que a Relatividade Especial (1905) cuida de explicar o que acontece com objetos em movimento próximos da velocidade da luz (eles encurtam e o tempo passa mais lentamente), a Relatividade Geral (1915) cuida de explicar o que acontece com objetos de grande massa em face do tempo e do espaço (eles deformam o tecido do espaço e do tempo, no sentido de que quanto maior a massa, maior a deformação do espaço e do tempo).

O postulado da Relatividade Especial com relação à contração do tempo foi comprovado experimentalmente, em 1971, quando se colocou um relógio atômico de césio, de altíssima precisão, a bordo de um avião a jato. O tempo medido por esse relógio foi ligeiramente menor do que o medido por

um relógio que permaneceu estacionário, em solo.

A contração do comprimento do objeto, por sua vez, outro efeito da Relatividade Especial, conhecida como contração de FitzGerald-Lorentz, porque foi concebida anos antes de Einstein por Lorentz e, independentemente, por FitzGerald, não é um efeito real, como pensavam FitzGerald e Lorentz, mas um efeito da medida que se faz do objeto. Embora muitos livros de física induzam o leitor a acreditar que esse fenômeno é real, isso não é verdadeiro. Um objeto em movimento próximo à velocidade da luz não se deforma fisicamente, vale dizer, ele não se comprime. A contração de seu comprimento é produto do processo de medição que o observador efetua. Ela é resultado da natureza do processo de medição.

A deformação no tecido do Espaço-Tempo como um efeito dos postulados da Relatividade Geral foi comprovada experimentalmente em um experimento comandado por Arthur Eddington, conforme exporemos mais à frente.

Uma distinção singela entre a primeira e a segunda teoria é a de que, enquanto a Relatividade Especial trata somente de movimentos uniformes (velocidade constante), a Relatividade Geral cuida dos movimentos com aceleração (ou desaceleração). Observe-se ainda que a primeira teoria cuida de grandezas, como tempo, espaço e velocidade, mas não trata do fenômeno da gravidade, que só será estudado pela segunda teoria.

Enquanto a física desenvolvida por Newton é suficiente para a explicação de fenômenos mais próximos da medida de nossa realidade humana, como o deslocamento de um corpo a 100 Km/h, a de Einstein emprega-se para movimentos com velocidades próximas à da luz (1,08 bilhão de quilômetros por hora). É muito difícil compreender a Relatividade porque ela não faz parte do senso comum (Não vivemos em um mundo acostumado a movimentos próximos a 300.000 Km/s)!

Newton aperfeiçoou o Princípio da Inércia de Galileu, ao acrescentar que um corpo permanece em seu estado de repouso ou de movimento retilíneo e uniforme, a menos que seja impelido por uma força a mudar seu estado ou direção.

Um exemplo concreto do efeito prático dessa lei ocorre quando nos deslocamos no interior de um automóvel por uma estrada a uma velocidade constante e em linha reta. Enquanto permanecemos assim, nada acontece conosco. Entretanto, se efetuarmos uma freada brusca, nos deslocaremos para frente, em direção ao painel do carro (daí a necessidade do *airbag* e do uso do cinto de segurança). O deslocamento para frente de nosso corpo representa a vontade dele permanecer no mesmo estado (estado de movimento) que se encontrava antes da mudança na aceleração do veículo, representada pela freada brusca.

Também quando o automóvel efetua uma curva fechada, mudando a direção do movimento, nosso corpo reage, tendendo a se inclinar em direção à porta lateral do veículo, preservando assim a direção (retilínea) anterior que se encontrava.

O genial nessa descoberta é o fato de que, de acordo com essa lei, se empurrarmos um objeto móvel com determinada força, ele adquirirá movimento e permanecerá assim eternamente (caso não houvesse atrito, resistência do ar e gravidade). Se o corpo ganha aceleração é porque uma força foi imprimida na direção do movimento. Se o movimento muda de direção, também é porque uma força foi aplicada lateralmente.

Newton, portanto, acrescentou que é necessária a aplicação de uma “força” para modificar a velocidade ou a direção do movimento. De fato, é uma descoberta genial, talvez quase do mesmo nível daquela dedução de que a mesma força que faz que uma maçã caia de uma árvore é aquela que faz que a Lua orbite em torno da Terra. E essa lei provou mais um erro de Aristóteles, que acreditava e defendia que o estado natural de um objeto era o repouso, para onde ele sempre tendia a retornar. Vimos, com Newton e sua Lei da Inércia (a Primeira Lei de Newton), que isto não é especialmente verdadeiro!

A Segunda Lei de Newton estabelece que a aceleração de um corpo é diretamente proporcional à força aplicada a esse corpo e inversamente proporcional a sua massa, de acordo com a fórmula, F=m.a., ou

seja, para uma dada força, a aceleração é tanto maior quanto menor a massa e a aceleração é maior quando a massa do corpo é menor. É, basicamente, com a aplicação dessa fórmula que se calcula a massa do Sol, da Terra, da Lua, dos outros planetas, das outras estrelas e até de galáxias inteiras, até porque não se pode medi-las com uma balança!

Só que a descoberta de Newton contém um limite percebido por Einstein. O fato de que jamais, de acordo com a Teoria da Relatividade Especial, conseguir-se-á acelerar esse corpo até a velocidade da luz. Para que se acelerasse um corpo até a velocidade da luz, exigir-se-ia o emprego de uma energia infinita. Além disso, o deslocamento de um corpo próximo à velocidade da luz produziria um aumento desmedido em sua massa, bem como o tempo, para esse corpo, passaria mais lentamente do que para um observador que permanecesse parado. Assim, próximo da velocidade da luz, a energia empregada para o aumento da velocidade do corpo tende ao infinito, a massa desse corpo também tende ao infinito e o tempo se torna mais lento. Tudo isto faz parte dos conceitos da Relatividade Especial de Einstein.

Um efeito espetacular da gravidade por todos nós conhecido é o fato de que a gravidade da Lua atrai a água dos oceanos, influenciando suas marés aqui na Terra. Mas o que é mesmo a "gravidade"? Podemos dizer que a gravidade é uma força de longo alcance que controla a estrutura em larga escala do Universo. Qualquer corpo com massa possui a capacidade de atrair outro corpo com massa, portanto, possui gravidade ou força gravitacional. Quanto maior a massa de um corpo, maior sua capacidade de atrair outro corpo de massa menor. É dessa maneira que a Terra nos prende à sua superfície e não o contrário.

Um coco pendurado num coqueiro puxa a Terra em sua direção tanto quanto a Terra o puxa de volta. Quando o coco cai, cai em direção à Terra, e não o contrário, porque sua massa é incomparavelmente menor do que à da Terra. O efeito resultante percebido é o coco acelerar-se em direção à Terra (ao centro da Terra), mas a Terra também se acelera em relação ao coco, só que essa aceleração é tão inexpressiva que não se consegue percebê-la ou medi-la.

Nesse sentido, se a Lua atrai a Terra, a Terra atrai a Lua de volta com uma aceleração maior. Se a Terra atrai o Sol, o Sol a atrai de volta com maior aceleração. Isso explica o fato de a Lua orbitar em torno da Terra e não o contrário, e, também, o fato de a Terra orbitar em torno do Sol e este, por sua vez, em torno da Via Láctea. Sim, não se espantem! O Sol dá uma volta completa em torno da Via Láctea a cada 200 milhões de anos, aproximadamente, a uma velocidade de 250Km/s.

Em nosso Universo, as galáxias formam aglomerados de diversos tipos, formas, números de integrantes e tamanhos. Esses grupos ou aglomerados de galáxias se estruturam dentro de superaglomerados de galáxias, que é um conjunto de aglomerados de galáxias. Aglomerados de galáxias também exercem atração gravitacional sobre outros grupos de galáxias. Nossa galáxia, por exemplo, faz parte de um grupo de galáxias chamado de Grupo Local. Este grupo está sendo lentamente atraído gravitacionalmente em direção ao superaglomerado de galáxias denominado Superaglomerado de Virgo, cujo tamanho e estrutura não é de impressionar, se levarmos em conta os demais superaglomerados que existem no Universo. E esses superaglomerados organizam-se em torno do que os astrônomos denominam de "Grande Parede (ou Muro)".

Se observarmos bem nossa galáxia, iremos ver que os planetas e as estrelas estão bastante próximos uns dos outros, se a compararmos à imensidão do espaço vazio vizinho. Por que eles estão tão juntinhos? Só pode ser pelo efeito da gravidade - eles estão atraindo-se. Observe-se também que a concentração da matéria ocorre no centro da galáxia e, quanto mais afastado desse local, mais dispersas ficam as estrelas e os planetas, em consonância com a lei da diminuição da força gravitacional proporcional ao quadrado da distância entre os corpos.

Não devemos confundir massa com peso. São dois conceitos físicos distintos. Massa diz respeito à quantidade de matéria presente num corpo. Peso depende do campo gravitacional. Em física, ele é o resultado da multiplicação da massa de um corpo pela gravidade (P=m.g).[4] Dessa forma, uma pessoa na superfície da Lua tem a mesma massa de uma pessoa aqui na Terra, mas como a Terra tem muito mais

massa que a Lua, ela a puxa muito mais fortemente, por isso seu peso na Terra mede mais do que na Lua. Rigorosamente falando, uma pessoa com massa de 10Kg, na superfície da Terra pesaria 98 newtons, já que P=m.g, isto é, 98=10x9,8 (9,8m/s² é o valor da gravidade na superfície do planeta Terra).

Essa mesma pessoa na Lua pesaria apenas 16 newtons, enquanto que no planeta gigante Júpiter pesaria 265 newtons (Em Júpiter, o valor da gravidade é de 26,5m/s²). Já um astronauta solto pelo espaço teria peso zero, pois a gravidade no espaço vazio não existe. É por isso que o peso, no rigor técnico, melhor seria chamado de força peso, já que sofre a influência da força do campo gravitacional.Essa mesma lei da gravidade, como explicada por Newton, determina que a Lua não escape da Terra em um movimento retilíneo constante. Também é por esse mesmo efeito que um satélite espacial lançado a partir da Terra mantém-se em órbita. Uma curiosa indagação seria por que ele não cai em direção à Terra? Na verdade ele cai, só que, por causa da velocidade atingida, e da curvatura da Terra, a trajetória que desenvolve é a de um círculo ao redor da Terra. Como não há resistência atmosférica, ele permanece com velocidade constante sem a ajuda de motores. Portanto, ele cai com uma velocidade tangente em relação à Terra, velocidade suficiente para impedi-lo de cair na própria Terra e na medida certa para fazê-lo circundá-la.

Esse movimento foi previsto pelo próprio Newton já no século XVII. Cálculos matemáticos aplicados às equações derivadas da Lei da Gravitação Universal resultam em que a velocidade necessária para um satélite manter-se em órbita circular acima da atmosfera terrestre é de 8 Km/s. Acima dessa velocidade, a órbita passa a ser elíptica. Acima de 11,2 Km/s, ele escapará da órbita terrestre e, acima de 42,5 Km/s, escapará do próprio Sistema Solar. Mas, se lançado de uma base na Terra, é necessária uma velocidade de 11,2 Km/s para entrar em órbita. Se esse mesmo objeto fosse lançado da superfície do Sol, precisaria atingir a velocidade de 600 Km/s para escapar dele. Da superfície de uma anã branca, precisaria de 5.200 Km/s; de uma estrela de nêutrons, de 195.000 Km/s. Essa é a chamada velocidade de escape.

Vamos explicar um pouco melhor essa situação. Vimos, até aqui, que quanto mais massivo um objeto, maior será sua força de atração, ou seja, sua força gravitacional. Uma das maneiras de aumentar o poder de atração de um objeto é aumentar sua densidade. Dessa forma, o objeto aumenta sua massa, mas mantém sua dimensão. Matematicamente falando, é possível produzir um objeto cuja densidade é tão grande que a velocidade de escape seja superior a 300.000 km/s, porém, 300.000 Km/s é a velocidade da luz e excedê-la é impossível, de acordo com Einstein. Assim, se esse objeto existir, a luz dele não conseguirá escapar. Embora Einstein não tenha aceitado tal hipótese como real, hoje os astrônomos não têm dúvidas de que esses objetos existem no Universo. No passado, Pierre-Simon de Laplace chamou estes objetos de estrelas escuras, até que o grande físico John Wheeler passou a nominá-los de buracos negros, nome mais apropriado, pois mais condizente com sua natureza, que é a de (de acordo com outro eminente físico, Leonard Susskind)[5] profundos buracos no espaço cuja atração gravitacional é irresistível.

Newton constata a gravidade, mas não a explica completamente. Sim, Newton descobriu que a força gravitacional atua em todo corpo que possui massa e que a Terra gira em torno do Sol por causa da gravidade. Também descobriu que a força da gravidade possui uma relação diretamente proporcional à massa do objeto e inversamente proporcional à distância entre eles. São descobertas monumentais, não há dúvida, mas estava faltando algo mais. Esse algo mais coube a Einstein descobrir. Einstein, através das equações da Relatividade e de sua intuição genial, descobriu que cada pessoa carrega consigo seu próprio tempo e seu próprio espaço e que o espaço e o tempo são relativamente diferentes em relação a sistemas estacionários ou em movimento. Descobriu também que o tecido do cosmos é deformado pelos objetos. Quanto maior a massa do objeto, maior a deformação do tecido. Assim, o Sol deforma o tecido do cosmos e isso faz que a saliência (vale) formada por essa depressão afete os outros objetos de massas menores, como a Terra, que passam a orbitar em rotas espaciais determinadas por aquela deformação.

Assim, a matéria ocasiona a curvatura do espaço e isso é justamente a gravidade. Com efeito, o Sol deforma o tecido do espaço-tempo e isso provoca um desvio na trajetória da luz. A gravidade, portanto,

deforma até a luz. No interior de um buraco negro, a gravidade é tão intensa que nem a luz consegue fugir de sua atração.

Em 1919, o mais famoso astrofísico de então, o britânico Arthur Eddington (1882-1944), organizou duas expedições científicas para comprovar a teoria de Einstein. Uma delas ele despachou para Sobral, no Ceará. A ideia era observar eventual desvio na trajetória de um raio de luz durante um eclipse solar. De fato, diante de um corpo muito massivo (como o Sol, por exemplo), mesmo as partículas da luz (os fótons), apesar de possuírem uma massa desprezível, podem ter sua trajetória desviada.[6] Foi o que Eddington comprovou em Sobral. Após a colheita dos resultados das observações, Eddington anunciou pomposamente para o mundo a comprovação da Teoria da Relatividade Geral. Em 7 de novembro de 1919, aparecia no Times, de Londres: "Revolução na ciência. Nova teoria do Universo. Ideias newtonianas derrubadas".

Tudo o que Newton previu e estabeleceu em sua Teoria da Gravitação Universal está correto, mas Einstein acrescentou algo mais. É como se Newton tivesse dado a seguinte explicação: o que determina a órbita da Terra em torno do Sol é a massa do Sol. Ao que Einstein teria replicado: é verdade, só que isso ocorre dessa forma por causa da deformação que o Sol provoca no tecido do cosmos.

Sendo assim, a gravidade coloca-se, então, como uma manifestação ou efeito da curvatura no tecido do espaço-tempo. A gravidade é, portanto, uma distorção no tecido do espaço-tempo provocada pela presença da matéria.

A física de Einstein assevera que vivemos em um espaço quadridimensional, com três dimensões para o espaço e uma para o tempo, tanto que se emprega a expressão "espaço-tempo" para se referir a essa realidade física, portanto, espaço e tempo estão ligados. Sendo assim, nada mais natural do que uma aplicação prática da gravidade venha a provocar uma distorção não apenas no espaço, mas também no tempo, ou, queiramos de outra forma, no espaço-tempo.

---

1 *Física conceitual,* p. 582.
2 *Einstein,* p.133.
3 A primeira bomba atômica (bomba de fissão) foi lançada em forma de teste, pelos americanos, no deserto do Novo México, nos Estados Unidos, em 1945. Por sua vez, a primeira bomba de hidrogênio (bomba de fusão) foi lançada em forma de teste, também pelos americanos, no atol Enewetak, nas Ilhas Marshall, no oceano Pacífico, em 1952. As únicas vezes em que bombas atômicas foram usadas em guerra ocorreram durante a Segunda Guerra Mundial, lançadas pelos Estados Unidos contra o Japão, em 1945. A boma de hidrogênio (bomba H), entretanto, nunca foi empregada em uma guerra.
4 Enquanto a massa mede-se em gramas (g) ou quilogramas (kg), o peso mede-se em newtons (N).
5 The black hole war, p. 147.
6 Apesar de terem sua trajetória desviada, a velocidade da luz permanece a mesma, ou seja, 300.000 km/s. A velocidade da luz só varia se o meio em que ela se propaga variar. Assim, por exemplo, na água, ela se propaga a 75% dessa velocidade, enquanto no vidro, ela se propaga a 67% dessa velocidade. Na atmosfera, a velocidade da luz é ligeiramente menor do que no vácuo, ou seja, é um pouco menor que 300.000 km/s.

Capítulo IV

Newton e Einstein:
um olhar pessoal

DE CERTA FORMA, tratar da origem do Universo é falar sobre física e não há como se discorrer sobre o assunto sem se pôr em destaque duas de suas maiores autoridades mundiais. Foram eles, afinal de contas, os responsáveis por sua construção em muitos aspectos. É claro que não é o objetivo deste livro (nem teríamos condições) discutir aspectos matemáticos de suas teorias, nem nos propusemos a narrar a biografia desses personagens, mas alguns aspectos da vida e da obra dessas mentes brilhantes devem ser realçados na medida em que nos aguçam a curiosidade. Falar sobre suas grandezas científicas e o legado que deixaram para a humanidade é, em muitos aspectos, repetir o trivial. O que nos interessa aqui não é isso, mas sim registrar seus fracassos, especialmente no campo pessoal. Isso porque boa parte dos livros que falam sobre eles costumam cultuar e realçar o aspecto de suas genialidades, algo como o que disse Marcus Chown[1] - “Assim como todos os caminhos levam a Roma, todos os caminhos da ciência levam a Newton, o intelecto mais poderoso que o mundo produziu”, ou Andrew Liddle[2] - “Albert Einstein é o maior ícone dos cientistas, seu nome é sinônimo de gênio”, reservando pouco espaço para mostrar que também tinham defeitos, como qualquer um de nós. Falando de seus defeitos, não estamos banalizando-os. Estamos é, de certa forma, humanizando-os, tornando-os mais próximos de nós, seres humanos imperfeitos. O fato de eles serem os personagens principais deste livro já é a forma deste autor homenageá-los, de sorte que não iremos seguir o conselho que certa feita o próprio Einstein deu, referindo-se a Newton: “Depois de trezentos anos, a vida privada de um homem deve permanecer privada”.

Comecemos com Newton. É curioso saber que, a par de sua mente científica brilhante, escondia-se um personagem por vezes desumano. Quando assumiu a direção da Casa da Moeda, na Inglaterra, parecia deliciar-se em interrogar falsificadores, levando a ferro e fogo sua missão policialesca, como verdadeiro sacerdote da verdade, não se importando muitas vezes com o destino daqueles infelizes criminosos, mesmo quando o caso os encaminhava à forca. Tudo isso ocorria, enquanto ganhava cada vez mais dinheiro como superintendente e depois como diretor da casa, sem se incomodar em receber, paralelamente, por cinco anos, seu salário de professor em Cambridge, mesmo sem trabalhar. Qual a explicação para esse comportamento tão cruel de Newton não sabemos, mas pelo menos algo parece claro: Newton era um homem comprometido com a busca da verdade – a verdade científica. Por toda a vida, procurou respostas positivistas aos fenômenos físicos, algo como a dicotomia entre o certo e o errado, o branco e o preto. O que Newton buscava nos interrogatórios metódicos e minudentes era encontrar falhas e contradições, enfim, provar a mentira e, uma vez encontrada, não se importava com a consequência muitas vezes desproporcional da punição dos culpados – a morte.

Em outro momento da vida, quando assumiu a presidência da *Royal Society*, uma sociedade científica fundada em Londres em 1660, perseguiu os inimigos de modo implacável e até desonesto. Uma de suas vítimas foi o consagrado matemático alemão Leibniz. Uma acirrada disputa acerca da originalidade da descoberta do cálculo terminou em uma comissão aberta para investigar o caso na *Royal Society*, presidida por ele mesmo. O relatório final dá vitória a Newton e desmoraliza bastante Leibniz. O relatório foi publicado na *Royal Society*, e uma avaliação desse relatório na *Philosophical Transactions of the Royal Society* (Relatórios Filosóficos da *Royal Society*), que era um periódico, uma espécie de revista científica, publicada mensalmente pela *Royal Society* a partir de 1664. Quem estava por trás não

só do relatório, quanto do comentário sobre o relatório, portanto, seu verdadeiro *gosh-writer,* era o presidente da *Royal Society*, ninguém menos do que o próprio Newton.

Também houve o caso do astrônomo real John Flamsteed. Flamsteed foi o primeiro astrônomo real da Inglaterra, nomeado pelo Rei Carlos II, que mandou construir o observatório de Greenwich, tendo Flamsteed assumido o posto em 1675. Flamsteed havia catalogado as estrelas ao longo de sua vida minudentemente. Newton precisou várias vezes dos dados catalogados por Flamsteed, que, por mais de 35 anos, estudara as estrelas, passando dia e noite observando o céu, em um imenso trabalho de anotação e cálculos. Gastou do próprio bolso na compra de equipamentos para desenvolver o trabalho. Planejara publicar a história celeste britânica a partir dos dados coletados em Greenwich como astrônomo do Observatório Real. Newton já havia recebido a colaboração de Flamsteed por várias vezes. Ele sempre lhe atendera aos pedidos de remessa dos dados do trabalho, contudo, a certa altura, passou a se recusar a enviar, na forma e no tempo desejado por Newton, os dados das estrelas por ele catalogados. Newton acabou por usar e abusar de seu poder na presidência da *Royal Society* para arrancar o trabalho de Flamsteed, ao conseguir da rainha submeter o Observatório Real ao controle e fiscalização daquela entidade. Esse era, portanto, seu lado mais obscuro.

Newton, ex-deputado, presidente autoritário da *Royal Society*, implacável superintendente e diretor da Casa da Moeda, professor lucasiano de matemática em Cambridge, foi um homem que viveu quase metade da vida isolado, sempre evitando o contato com as pessoas. Foi uma criança que nasceu frágil e, já órfão do pai, agricultor e analfabeto, também cedo perdeu o contato com a mãe, que se casara novamente, e o novo consorte não aceitou o convívio com o enteado. Um gênio da física e da matemática, autor de obras sobre cores, óptica, cálculo, e consagrado pelo seu monumental *Principia*. Um homem profundamente interessado em teologia e em alquimia, dedicando-se a esses assuntos ao longo da vida tanto quanto à física e à matemática. Newton, sem dúvida também um homem muito rancoroso, que perseguia os inimigos ferozmente, faleceu em Londres em 1727, aos 84 anos de idade.

E o que podemos dizer de Einstein? Comecemos por elogiá-lo. No campo da política, Einstein foi um pacifista e um supranacionalista. Sempre esteve do lado certo, à altura de sua fama, constantemente preocupado e envolvido com certas “causas” da humanidade. Assim foi com a resistência a Hitler e ao nazismo. No calor dos acontecimentos, enquanto muitos de seus colegas cientistas se abraçavam com o emergente movimento nacionalista alemão, Einstein nunca se deixou iludir por esses apelos patrióticos e cedo se identificou com o sofrimento e a perseguição dos judeus, sendo, ele próprio, um deles. Por outro lado, apesar da simpatia com as promessas de igualdade social do socialismo, nunca se iludiu com os bolcheviques, tendo recusado os convites para visitar a Rússia e lá proferir palestras. Einstein, na verdade, sempre soube valorizar a liberdade pessoal e de opinião das pessoas, o que implicava a liberdade do pensamento científico. Ele via com desconfiança o crescimento da máquina estatal. Posicionou-se fortemente contra os excessos americanos, quando aquela sociedade se mostrava inquieta e amedontrada com o fantasma do comunismo e com o senador Joseph McCarthy iniciando uma verdadeira caça às bruxas, na vã tentativa de identificar os eventuais simpatizantes do regime soviético. Também foi um pacifista admirador de Gandhi e da política de desobediência civil, chegando a apregoar a recusa à prestação do serviço militar obrigatório. Ao constatar a escalada armamentista alemã, decidiu que algo haveria de ser feito. Einstein defendeu a existência de um órgão internacional supraestatal que controlasse o uso da força pelos diversos países ao redor do mundo. Esse era o lado político correto de Einstein - o envolvimento e o apreço pelas causas da humanidade.

Em que pese a consciência social e o sucesso científico inigualável, pode-se dizer que, até certo ponto, em seu relacionamento familiar, mais íntimo, ele foi um fracasso. E, aparentemente, até se lamentou disso mais tarde, ao escrever para o filho e a mulher de um de seus melhores amigos, Michele Besso, logo após sua morte: “O que eu mais admirava em Michele era o fato de que ele foi capaz de viver tantos anos com

uma só mulher, não apenas em paz, mas em constante união, algo em que eu, lamentavelmente, fracassei". Ao contrário de Newton, que fora celibatário por toda a vida, Einstein foi um namorador que abraçou o trabalho científico com volúpia. Parecia que, no íntimo, a única coisa que lhe interessava verdadeiramente era o mundo intelectual, o trabalho e as reflexões no campo da física. O casamento com Mileva Maric revelou-se um desastre para ambos. Apesar da capacidade de fazer amigos, muitos dos quais duraram a vida inteira, e de despertar nas pessoas a figura de um velhinho doce, humilde e sensível, algo havia de frieza e distância em sua personalidade.

Einstein casou-se cedo, contrariando a vontade dos pais, que se opuseram à união. O pai só teria dado o consentimento em seu leito de morte e a mãe nunca teve um bom relacionamento com a nora. Antes do casamento, quando ainda namorava, engravidou Mileva, mas nenhum dos dois queria a filha. É verdade que a falta de aprovação e apoio dos pais para a união do casal e o fato de serem bastante novos e solteiros deve ter contribuído para essa decisão. De qualquer forma, por mais forte que tenha sido o motivo, o fato é que a filha, Lieserl Einstein, foi abandonada por eles! Quando nasceu, Einstein nem se deu ao trabalho de visitá-la. Provavelmente, a menina foi entregue para adoção aos cuidados de uma amiga de Mileva e, ao que tudo indica, faleceu no ano seguinte ao nascimento, acometida de escarlatina.

Após o casamento com Mileva e antes da separação, Einstein teve dois filhos, Hans Albert e Eduard. Einstein sempre foi distante dos filhos e nunca teve um relacionamento mais próximo deles. No início da separação, Mileva, que com o passar do tempo foi-se mostrando uma pessoa difícil e complicada, fazia "inferninho" com os meninos, estimulando propaganda negativa do pai e dificultando seu contato com as crianças. Mas isso mudou com o tempo e Einstein pôde manter a convivência com os filhos sem encontrar oposição da mãe. A certa altura, mantinham um relacionamento respeitoso e, porque não dizer, amigo. Hans Albert, o primogênito, somente foi aproximar-se mais do pai já na maturidade, principalmente quando foi morar nos Estados Unidos, próximo a ele.

Mas o problema maior era Eduard. Einstein, definitivamente, não soube lidar com ele. Eduard era o filho mais novo de Einstein. Muito inteligente, chegou a cursar medicina. Seu desejo era ser psiquiatra e seu grande ídolo intelectual era Freud. Eduard, carinhosamente chamado de Tete, passou por muitos problemas e aparentemente sofreu grandes traumas. O primeiro foi ter de enfrentar a separação dos pais, que acabou por representar a separação dele do próprio pai. Einstein sempre foi muito ausente em sua vida e ele se queixou várias vezes disso, chegando a ponto de escrever cartas dramáticas ao pai. Era muito difícil para ele também ser filho do grande homem, o grande cientista, ser filho do gênio mundialmente conhecido. Certo dia, quando Einstein o visitara e chegara o momento de partir, tentou cometer suicídio, correndo em direção à janela para saltar. Eduard acabou sofrendo de esquizofrenia e passou a ter delírios, sendo diagnosticado com problemas mentais. Os pais internaram-no em um sanatório. Eduard passou a viver sozinho nesse asilo na Suíça, recebendo apenas a visita da mãe. Einstein quase nunca o visitou. Depois que partiu para o exílio nos Estados Unidos em 1933, nunca mais viu o filho. Se era justificável sua ausência de 1933 a 1945, anos do terrorismo nazista, da perseguição aos judeus e da própria guerra, pelo menos de 1945 em diante Einstein poderia tê-lo visto. Nem quando Mileva faleceu, em 1948, Einstein dignou-se de vê-lo. Eduard ficou sozinho, sem receber a visita dos pais, de 1948, quando sua mãe falecera, até 1965, quando morreu aos 55 anos. Einstein teve pelo menos dez anos, de 1945 a 1955, quando ele próprio faleceu, para ver o filho, mas preferiu abandoná-lo.

Mesmo com tudo isso, gostaria de terminar essa parte do livro com uma frase do próprio Einstein, que serve tanto para ele quanto para Newton: "Não posso julgar o que fez, porque não conheço seus motivos para isso".

---

1 *The magic furnace*, p.8.
2 *The Oxford companion to cosmology*, p. 109.

Capítulo V

A composição do Universo

NESSE CAPÍTULO, FALAREMOS sobre os vários tipos de objetos celestes que compõem o Universo, inclusive sobre a morte do Sol, e tentaremos apresentar uma noção da imensidão de seu tamanho.

Os componentes do Universo

Cosmólogos, a partir de Einstein (1917), costumam afirmar que o Universo é o mesmo em todas as direções. Em termos técnicos, isso significa que ele é homogêneo e isotrópico. Isso quer dizer que, tirante pequenas diferenças locais, se pegarmos um pedaço do Universo em um canto e compararmos com outro em outro local, essas partes são semelhantes. Este é o princípio cosmológico. Além disso, as mesmas leis físicas que atuam naquele pedaço atuam naquele outro pedaço milhares de anos-luz de distância.

Essa homogeneidade na aparência e composição do Universo e na aplicação das leis físicas que o governam é mais um sinal de que o Universo teve uma origem comum. Como vimos no primeiro capítulo, o Universo é composto pelos mesmos elementos químicos já conhecidos e classificados pela humanidade. É muito fácil conferir essa classificação e apreciar quem são esses elementos químicos. Basta dar uma olhada na tabela periódica, criada pelo cientista russo Dimitri Mendeleyev em 1869 e aperfeiçoada ao longo dos tempos.

O Universo é permeado por bilhões de galáxias, dos mais diversos tipos, formas e tamanhos, e essas, por sua vez, as são por bilhões de estrelas e planetas os mais variados. Os astrônomos já detectaram, por exemplo, estrelas com 4,5 massas solares, com 0,24 massa solar; planetas com 19,8 massas de Júpiter, com 0,02 massa da Terra e assim por diante.

Apesar de toda essa diversidade, é natural que os objetos mais conhecidos do Universo para nós sejam os planetas (Eles estão muito mais próximos de nós do que as estrelas). Nós nos acostumamos com nomes, como, além do planeta Terra, Mércurio, Vênus, Marte, Júpiter, Saturno, Urano, Netuno e Plutão, que são os planetas que compõem o Sistema Solar, em distâncias que aumentam progressivamente em relação ao Sol (cada planeta que passa aumenta mais sua distância para o Sol do que o anterior, em termos proporcionais), percorrendo órbitas quase circulares (à exceção de Mercúrio).

Planetas são esferas que não têm luz própria e que orbitam uma estrela. Podem ter sua composição química essencialmente sólida (metal e rocha) ou gasosa. Mercúrio, Vênus, Terra e Marte são planetas pequenos, densos, relativamente próximos do Sol e formados basicamente por rocha e metal. Já Júpiter, Saturno, Urano e Netuno são planetas grandes, pouco densos, bem mais afastados do Sol e essencialmente gasosos, compostos predominantemente por hidrogênio e hélio (mas é quase certo, porém, que seus núcleos sejam sólidos).

Os estudiosos dizem que se o gigante gasoso Júpiter, o maior dos planetas do Sistema Solar e que, contrariamente a uma estrela, é bastante frio[1], tivesse uma massa oitenta vezes maior do que a que ele possui, poderia se ter transformado em uma estrela pequena.

Plutão (um planeta formado por gelo - sua temperatura é de aproximadamente –223º centígrados), recentemente foi reclassificado, porque se descobriu que no Sistema Solar, há asteroides maiores do que ele e, dessa forma, ele foi inserido na nova categoria de planeta-anão.

A categoria de planeta-anão foi criada em 2006, após uma reunião da União Astronômica Internacional (IAU). Definiram que para um corpo celeste ser classificado como planeta no Sistema Solar, haveria de observar três requisitos: 1) orbitar o Sol; 2) ser massivo o suficiente para ter uma forma aproximadamente esférica; 3) ter limpado o caminho ao longo de sua trajetória orbital. Plutão preenche os dois primeiros requisitos, mas não preenche o último, pois há diversos corpos celestes na região em que ele está inserido, o Cinturão de Kuiper. Para objetos que preencham apenas os dois primeiros requisitos, decidiu-se criar uma nova categoria, a dos planetas-anões. Nela foram incluídas até agora, por exemplo, Eris, de 2.400Km (maior, portanto, do que Plutão, cujo diâmetro mede 2.270Km), 2005FY9, ainda não batizado, que possui 2.000Km de diâmetro, Sedna, de 1.500Km de diâmetro, Quaoar, de 1.200Km de diâmetro.

Além dos planetas pertencentes ao Sistema Solar, hoje se sabe que existem vários planetas dentro e

fora da própria Via Láctea, que, inclusive, orbitam outras estrelas, como nós orbitamos o Sol.

Sistemas planetários, portanto, embora diferentes, não são um privilégio nosso. O verdadeiro privilégio, no entanto, é nosso próprio planeta. O planeta Terra é singular por possuir água líquida em sua superfície e oxigênio na atmosfera. Nenhum outro planeta possui essas características. A água dos rios e dos oceanos, o oxigênio em sua atmosfera, além do verde de suas florestas, não existem em lugar algum do Universo (pelo menos não foi detectado ainda). A vida também, pelo menos como a conhecemos, só existe em nosso planeta.

A Terra, portanto, é única no Universo, porque somente nela existem as circunstâncias necessárias e suficientes para que exista e possa se desenvolver a vida. O restante dos planetas são mundos terríveis para os padrões a que estamos acostumados. Uns mais; outros nem tanto, mas todos insuportavelmente inabitáveis. Ou são rochas áridas, um mundo muito parecido com um deserto quente de morros, montanhas e poeira, ou são planetas gélidos e pálidos, muito piores do que o círculo polar ártico, ou são planetas com solos extremamente quentes, vulcânicos, com gases marrons e tóxicos, ou são bolas, apenas esferas gigantescas de gases irrespiráveis. Enfim, para nós, são o verdadeiro sentido do inferno, como nós o concebemos em nosso imaginário religioso. Mesmo no mais parecido conosco, Marte, não suportaríamos habitá-lo. A paisagem marciana, avermelhada e estéril, se comparada à nossa, provoca-nos o sentimento mais desolador. Não existe outro lugar no cosmos com o verde das florestas, o azul do mar, o azul e branco dos céus.

Além disso, somos uma espécie frágil, no sentido de pouco adaptável, mesmo a pequenas mudanças. Se a Terra fosse uma maçã, viveríamos na casca dela. Não teríamos condições de habitar um pouquinho acima ou abaixo dessa casca.

Além de planetas, existem as luas. Luas são objetos celestes que orbitam planetas ou até mesmo podem orbitar asteroides. Nós só temos uma lua, a nossa Lua, que, comparada às outras, é proporcionalmente muito grande em relação ao planeta que orbita (o raio da Terra é somente quatro vezes maior do que o da Lua). Diferentemente da Terra, a Lua não possui atmosfera, nem água, nem atividade geológica, mas há planetas que possuem várias delas. Por exemplo, em torno do maior deles, Júpiter, orbitam as quatro luas maiores e mais conhecidas, Io, Europa, Ganimedes e Calisto, todas elas já vistas no início do século XVII por Galileu Galilei. Hoje, o total de luas conhecidas que orbitam Júpiter chega a 63 e pode ser que se descubram mais! Em torno do planeta-anão Plutão, orbitam três luas: a maior delas, Charon, considerada uma gigante comparativamente ao tamanho de Plutão (seu diâmetro é de 1.300Km, mais da metade do diâmetro de Plutão) e mais duas outras, Nix e Hydra.

Asteroides, por sua vez, são pedaços de rocha (a grande maioria) ou de metal, ou de rocha e metal, que vagueiam pelo espaço. A diferença entre um asteroide e um meteoro é de apenas o tamanho. Asteroides menores do que 100m de diâmetro são chamados de meteoros. Os três maiores asteroides classificados até hoje foram denominados de Ceres, Pallas e Vesta e possuem o diâmetro de 940Km, 580Km e 540Km, respectivamente, embora a grande maioria deles possua pouco mais do que alguns quilômetros de diâmetro. Dizem os astrônomos que asteroides são restos de um planeta frustrado.

Os asteroides são, com efeito, fragmentos que restaram da formação do primitivo Sistema Solar. Foi constatado que alguns poucos asteroides possuem luas. Em 1993, por exemplo, descobriu-se que o asteroide Ida, de 60Km de diâmetro, possuía uma lua, Dactyl, de 1,5Km de diâmetro, orbitando-o a 90Km de distância. Também descobriu-se que há casos de sistemas de asteroides binários, ou seja, um asteroide orbitando o outro, enquanto os dois orbitam o Sol.

Asteroides são muito importantes, porque servem como parâmetro de estudo para a formação do Sistema Solar. Pedaços de asteroides caídos na Terra foram datados de 4,4 a 4,6 bilhões de anos. Também eles podem ser muito perigosos, se vierem a se chocarem conosco.

Todos os asteroides são menores do que nossa Lua e, por causa de seu tamanho, não possuem formas esféricas, como os planetas e como as luas. As luas e os planetas adquiriram essa forma esférica em

decorrência do efeito da gravidade sobre elas mesmas, mas os asteroides, como têm uma gravidade muito pequena, devido às suas massas reduzidas, possuem formas irregulares.

A maioria dos asteroides do Sistema Solar localiza-se em uma região chamada Cinturão Principal e desenvolvem órbitas aproximadamente elípticas. O Cinturão Principal é uma zona recheada por milhares desses corpos e que fica entre as órbitas de Marte e Júpiter. Embora isso raramente ocorra, esses dois planetas podem deslocar a órbita de um asteroide para dentro do Sistema Solar interior em virtude do efeito de suas atrações gravitacionais, o que pode causar que eles entrem em rota de colisão com a Terra.

Em 1992, descobriu-se outra zona de grande concentração de asteroides, que foi batizada de Cinturão de Kuiper, localizada depois da órbita de Netuno. Também por causa do efeito das interações gravitacionais com corpos celestes maiores, esses asteroides podem ter seu curso desviado para o Sistema Solar interior.

Quando um asteroide pequeno penetra na atmosfera terrestre, normalmente se derrete por causa da fricção causada pela atmosfera da Terra e consequente elevação da temperatura do asteroide. A este tipo de asteroide que colide com a Terra, damos o nome de meteoro, popularmente conhecido como estrela cadente. Conforme o tamanho, pode ser que ele não se desintegre completamente e, aí, os pedaços podem atingir o solo terrestre, causando grandes estragos, dependendo de onde venha a cair. Quando isso ocorre, muda de nome e passa a se chamar meteorito.

Como a Terra é coberta na maior parte por oceanos, há uma probabilidade maior de que um meteorito venha a cair no mar, mas uma infelicidade do destino pode fazer com que ele caia justamente sobre um transatlântico transportando turistas em férias a uma praia do Caribe. Seria uma grande tragédia, sem dúvida, mas não é impossível de ocorrer.

Um asteroide que a atmosfera terrestre não conseguiu vaporizar, nós sabemos, matou os dinossauros há 65 milhões de anos, por causa do grande impacto causado e, sobretudo, devido à formação subsequente de uma grande nuvem de pó, que bloqueou a passagem dos raios solares, impedindo o processo de fotossíntese. Os animais que sobreviveram, entre eles alguns mamíferos de pequeno porte, evoluíram e se diversificaram pelo processo da seleção natural. Para muitos cientistas, não tivesse havido esse acaso, a espécie humana não teria evoluído como a dominante.

Cometa é um bloco de gelo sujo de poeira. Como os asteroides, os planetas e as luas, também não emitem luz, apenas refletem a luz de uma estrela. Ao se aproximarem do Sol, parte é derretida, formando aquele efeito visual chamado de cauda e que encanta os habitantes daqui da Terra, embora no passado tenham sido objeto de misticismo e medo. Os cometas possuem órbitas muito alongadas, aproximadamente elípticas, e demoram dezenas a centenas de anos para dar uma volta em torno do Sol. Eles são classificados, quanto à órbita, em cometas de períodos curtos e cometas de períodos longos. Os cometas de período curto se originam de uma região para além da órbita de Netuno, chamada de Cinturão de Kuiper. A maioria dos cometas do Sistema Solar (trilhões deles), entretanto, provém de uma região distante, para além da órbita de Plutão, a Nuvem de Oort, e são chamados de cometas de período longo.

Apenas quando o efeito da interação gravitacional com um corpo celeste maior perturba sua órbita, pode fazer que os cometas tenham a rota desviada e penetre no Sistema Solar interior, mas isso raramente acontece. Portanto, não vemos a grande maioria dos cometas que existem no Sistema Solar, porque eles passam muito distantes do Sol, apesar de todos eles o orbitarem. Quando um cometa passa perto do Sol, perde parte de sua massa. Assim, quando der muitas voltas em torno dele, ao longo de milhares de anos, acabará por se volatilizar por completo.

Cometas maiores que porventura venham a penetrar na atmosfera podem produzir muitos estragos ao se chocarem com a Terra, como já ocorreu ao longo da história. No ano de 1908, por exemplo, caiu na região de Tunguska, na Sibéria, um objeto celeste que a maioria dos estudiosos diz ter sido um cometa, causando grandes danos e destruição ao meio ambiente (Há controvérsias quanto a isto. Como não foi achada uma cratera, nem fragmentos do objeto, alguns estudiosos acreditam tenha o desastre de Tunguska

sido causado por um meteorito, que explodiu antes de atingir o solo). Tivesse caído em uma grande metrópole e não numa região pouco habitada, como a Sibéria, teria ocasionado a morte de milhares de pessoas, provocado incêndios e causado uma tragédia de enormes proporções.

Existem muitos outros objetos celestes interessantes, que são essenciais à compreensão da formação e do funcionamento do Universo, como o que se encontra no meio interestelar. Com efeito, entre as estrelas, encontra-se um imenso espaço vazio, cuja densidade média é menor do que o mais perfeito vácuo produzido em laboratórios aqui na Terra. Apesar de esparsamente ocupado por gases e poeira, existem regiões de maior concentração desses materiais, que se denominam de nebulosas. Elas consistem em uma nuvem gigantesca, visível através dos telescópios, de gás e poeira. É do interior dessas nebulosas, formadas principalmente por hidrogênio e hélio, que se formam as estrelas. Essas nebulosas são conhecidas como nebulosas de emissão, por ser o local do nascimento das estrelas. Algumas estrelas, quando morrem, podem também formar grandes nuvens de gases e poeiras ao seu derredor. Essas nuvens são também denominadas de nebulosas e são formadas pelo material expelido pela estrela moribunda. Para diferenciar da anterior, seu nome é nebulosa planetária, apesar de nada ter a ver com planetas. Hoje, com o progresso técnico dos instrumentos de observação espacial, foi possível colacionar registros de imagens espetaculares tanto de nebulosas formando estrelas, quanto de nebulosas formadas pela morte delas.

Como dissemos, algumas vezes a nebulosa é formada do que restou da morte de uma estrela. Estrelas moribundas ou que terminam a vida em explosão furiosa podem lançar ao espaço imensas nuvens de gás e poeira que acabam por formar novas nebulosas, que, por sua vez, podem dar vida a novas estrelas, em um ciclo que se repete. Não há, assim, como não se perceber uma analogia com o ciclo da vida e da morte que ocorre aqui em nosso planeta. Quando nós humanos morremos, a matéria de que somos compostos volta a integrar o cosmos e vai constituir outros corpos, outras pessoas. De fato, há aproximadamente dez bilhões de anos, cada átomo que hoje forma nossos corpos estava no centro de uma estrela, de sorte que nada mais verdadeiro do que a descoberta do francês Lavoisier, considerado o pai da Química moderna, morto em 1794, aos 51 anos, na guilhotina, durante a época do terror da Revolução Francesa[2], de que, na natureza, nada se perde, nada se cria, tudo se transforma. Somos, de fato, produto das estrelas.

Já estrelas (o Sol uma delas) são bolas de gás incandescente compostas sobretudo de hidrogênio e de hélio, que produzem energia térmica e luminosa através do processo de fusão nuclear que ocorre em seu interior (Lavoisier, ao publicar seu famoso *Tratado Elementar de Química*, em 1789, considerava a luz e o calor como elementos químicos, ou seja, como matéria. Não havia ainda, àquela época, a noção de que o calor e a luz pudessem ser formas de energia).

As estrelas são formadas a partir da condensação de gases e poeiras no interior das nebulosas. A gravidade tem o papel primordial de fazer que o gás e a poeira fiquem cada vez mais concentrados, densos e quentes, até que eles atinjam determinado limite crítico suficiente para detonar o processo de fusão nuclear (para uma estrela entrar em ignição, é necessário que se atinja uma temperatura em seu centro de pelo menos dez milhões de graus e que tenha uma massa superior a 0.08 da massa do Sol). Daí a estrela passa a ter vida própria. Caso não atinja esse limite, pode-se dar origem a uma anã marrom. Uma anã marrom, portanto, é uma estrela frustrada.

Uma anã marrom é uma estrela com massa de menos de 10% da massa do Sol e que não conseguiu se formar, pois não conseguiu atingir a massa e a temperatura necessárias para sustentar o processo de fusão nuclear. Embora maiores que planetas, são pequenas demais para se inflamarem como estrelas e conseguem apenas emitir uma fraca luminosidade pelo espaço.

As estrelas podem perfilar-se pelo espaço isoladamente (é o caso do Sol), porém é mais comum que elas formem estrelas duplas. Essa formação é chamada de sistema binário. Podem ocorrer também sistemas triplos, quádruplos etc, com cada uma delas orbitando em torno da outra. Sistema de uma estrela

única, isolada, como o Sol, é bem mais raro de se encontrar no Universo. Também ocorrem no Universo múltiplas concentrações de estrelas. São como vários sóis aglomerados, próximos uns dos outros. Essa formação denomina-se aglomerado estelar.

Existem vários tipos de estrelas no Universo, desde aquelas muito menores do que o Sol, com 0,1 massa solar, até estrelas com massas 100 ou mais vezes maiores do que a do Sol. Além de variarem em massa, elas podem variar em tamanho, luminosidade, densidade, temperatura, cor, tempo de vida e idade. Por exemplo, existem estrelas supergigantes que possuem um raio mil vezes maior do que o Sol. Também existem estrelas muito pequenas, cujo raio pode representar 0,007 do raio solar. As temperaturas também podem variar muito. Por exemplo, estrelas da sequência principal possuem uma temperatura de superfície variando entre 3.000 a 30.000 graus.

Essas estrelas são formadas periodicamente em algum recôndito lugar do cosmos. Assim como ocorre conosco, dia após dia nasce uma estrela, enquanto outras morrem. O ciclo da vida é, antes de tudo, um ciclo de vida e de morte estelar.

A morte do Sol.

O Sol é uma estrela comum, de porte mediano, que não ocupa posição especial alguma no Universo. Não se localiza no centro da Via Láctea, mas perto da borda interna de um de seus braços espirais. De onde ele está ao centro da galáxia, percorre-se a distância aproximada de 270 trilhões de quilômetros. O Sol, como toda estrela, teve um início algum dia, mas também terá o seu fim. Ele é uma imensa máquina de fundição de hidrogênio em hélio. Essa fusão termonuclear é necessária para manter o Sol em equilíbrio. Se ela cessasse, o Sol não suportaria o próprio peso e entraria em colapso. Calcula-se que surgiu há mais ou menos 4,6 bilhões de anos, juntamente com os demais planetas do Sistema Solar, e daqui a mais cinco bilhões de anos, quando acabar o combustível nuclear, sua vida terá chegado ao fim. Aí teremos que procurar um outro planeta para morar.

O Sol é uma bola de gás (não contém material sólido) gigantesca, muito maior do que a Terra. Em termos comparativos, se você imaginar a Terra como uma bola de futebol, deve imaginar o Sol como um enorme balão. A massa do Sol é de dois trilhões de quatrilhões de toneladas, o que equivale a aproximadamente 330.000 vezes a massa da Terra, seu diâmetro é 108 vezes o da Terra e o volume é 1.295.000 vezes o da Terra. Sozinho, responde por 99,85% da massa do Sistema Solar. A composição química é de 71% de hidrogênio, 27% de hélio e o resto de elementos químicos mais pesados. Foram identificados até agora traços de, pelo menos, mais 65 elementos químicos no Sol.

Estrelas, como o Sol, passam a maior parte da vida em uma fase bastante estável, chamada de "sequência principal". 90% das estrelas que contemplamos no firmamento estão nesse estágio. Isso se explica porque a maior parte da vida das estrelas se passa nessa fase (também cerca de 90%). Malcomparando, é como se um alienígena observasse os terráqueos. Veria-os em sua maioria vivos, perambulando pelas ruas da cidade, contudo uma pequena fração da população mundial ou está nascendo ou morrendo, como as estrelas.

A sequência principal é o período mais estável da estrela. Nessa fase, a pressão exercida pela fusão nuclear, que ocorre no centro da estrela, contrabalança a pressão da gravidade da estrela sobre si mesma. O Sol funde o hidrogênio em hélio em seu centro a uma temperatura aproximada de 15.000.000 de graus centígrados, enquanto a temperatura da superfície, que fica a 700.000 Km de distância, é de 6.000 graus. É o estágio em que o Sol se encontra hoje. Nesse momento, o Sol queima seu combustível nuclear – o hidrogênio – transformando-o em hélio. Para que se inicie o processo de fusão nuclear no coração de uma estrela, exige-se uma temperatura de pelo menos 10 milhões de graus. Por segundo, cerca de 657 milhões de toneladas de hidrogênio são queimadas em 653 milhões de toneladas de hélio. As 4 milhões de toneladas de massa a menos são transformadas em energia.

Após esgotar todo o hidrogênio encontrado no interior, o Sol passará à fase da queima do hélio, quando começarão os nossos problemas aqui na Terra. É que, nessa fase, o Sol deverá expandir-se imensamente, tornando-se uma "gigante vermelha" e, fatalmente, acabará por destruir nosso planeta, que deverá, nessa ocasião, literalmente, derreter. Após o término dessa sequência, o Sol terá chegado ao fim, transformando-se em uma estrela moribunda chamada "anã branca" e a Terra, sem mais a presença do Sol, ficará congelada, e seus dias serão sempre noite.

Do espetáculo da vida e da natureza que temos o privilégio de conviver nos dias de hoje, para um local eternamente escuro e congelante, será sem dúvida um fim muito triste para a história da humanidade, porém não devemos nos impressionar tanto com isso. Como tudo na natureza, desde plantas a animais, nascemos, envelhecemos e morremos. Também as estrelas nascem, envelhecem e morrem!

Todo ser humano nasce de modo semelhante, mas a morte pode ocorrer de variados modos. Assim também ocorre com as estrelas. Elas nascem de modo semelhante, contudo podem ter mortes diferentes. Grosso modo é mais ou menos assim que funciona.

Estrelas muito grandes, bem maiores do que o Sol, incham e explodem. O nome dessa explosão

gigantesca é supernova. Ela é responsável pela fusão e pelo espalhamento dos elementos químicos mais pesados da tabela periódica. Após a explosão, o que sobra dessa estrela forma uma estrela de nêutrons ou um buraco negro.

Uma estrela de nêutrons pesa tanto quanto o Sol, porém comprimida em uma região do tamanho de uma pequena cidade. Uma colher de chá de uma estrela de nêutrons pesaria cerca de dez bilhões de toneladas (uma estrela de nêutrons pode transformar-se mais tarde em um pulsar, que é uma estrela de nêutrons em rotação sobre o próprio eixo a altíssima velocidade, como um farol, emitindo radiação constante).

Outro objeto bem estranho que pode resultar da morte de uma estrela gigante é um buraco negro. Um buraco negro é um objeto cuja força da gravidade é tão intensa que nem mesmo os raios de luz conseguem escapar dele e, por isso, que não os vemos pelo Universo, mesmo que eles existam em muita quantidade, até mesmo espalhados pela Via Láctea (no centro de nossa galáxia, é provável que exista um bem grande)! Assim, estrelas de nêutrons não são o último estágio de compressão da matéria estelar. Calcula-se que se o raio do Sol fosse reduzido a três quilômetros, mantendo-se sua massa, ele se transformaria em um buraco negro. Comparativamente, fosse o planeta Terra uma estrela, para transformá-la em um buraco negro, teríamos de reduzi-la a um objeto equivalente a cerca de um centímetro.

Estrelas mais ou menos do tamanho do Sol incham e depois se contraem. O nome desse inchaço é “gigante vermelha”. Após este inchaço, quando então elas expelem partes de seu próprio corpo, formando uma nuvem de forma arrendondada em sua volta denominada “nebulosa planetária”, elas se contraem, e o que resta da estrela original forma uma anã branca.

Apesar desse nome – nebulosa planetária – ela nada possui em comum com os planetas. O nome é atribuível ao fato de que astrônomos antigos, ao observarem-na com telescópios pouco potentes, confundiram-na com planetas, mas, na verdade, a nebulosa planetária, como já vimos antes, é aquela nuvem de gás de forma mais ou menos cilíndrica que é expulsa ou ejetada da estrela, quando ela está morrendo, permanecendo imorredouro apenas o caroço central, destinado a converter-se em uma anã branca.

Na anã branca remanescente, não ocorrem mais processos de fusão nuclear e seu brilho inerente deve-se ao calor que ainda sobrara da estrela original, como as brasas de uma fogueira. Após milhares de anos, suspeita-se que essa anã branca se apague, transformando-se em uma anã negra, destinada a vagar eternamente pelo espaço.

A imensidão do cosmos

As evidências indicam que o Universo é aberto, infinito e se expandirá para sempre. Os seres humanos habitam apenas uma pequena porção deste Universo, na Via Láctea.

A Via Láctea, composta basicamente dos oito planetas conhecidos, de outros planetas menores, de centenas de satélites (como a Lua), de bilhões de estrelas (como o Sol), de bilhões de asteroides e cometas, de gases e poeira, é somente uma das centenas de bilhões de galáxias que compõem o Universo e possui a idade em torno de 10 bilhões de anos. Em nossa medida de tempo humano, o Universo já era um vovô de mais ou menos quatro bilhões de anos, quando surgiu a nossa galáxia.

É bastante comum confundir-se a Via Láctea com o Sistema Solar. O Sistema Solar é o conjunto formado pelo Sol e pelos demais objetos celestes que giram a seu redor, como nosso planeta. Divide-se o Sistema Solar em interior e exterior. O Sistema Solar interior (em ordem de proximidade com o Sol) é composto pelos planetas rochosos Mercúrio, Vênus, Terra e Marte. Após Marte, há uma região composta por muitos milhares de asteroides, o Cinturão Principal. Em seguida, após esse cinturão, seguem-se os planetas gigantes gasosos Júpiter, Saturno, Urano e Netuno. Após Netuno, existe uma nova região de asteroides, o Cinturão de Kuiper, região de onde provém a cada 76 anos o famoso cometa Halley. Os objetos localizados nessa região também são denominados objetos transnetunianos. O ex-planeta Plutão é um deles. Finalmente, rodeando todo o Sistema Solar, há uma nova região de asteroides e cometas, a Nuvem de Oort.

Se fôssemos iniciar uma jornada a partir do Sol, teríamos que percorrer 150 milhões de quilômetros até chegar à Terra. Marte está perto, cerca de 227 milhões de quilômetros do astro-rei. Após Marte, teríamos que atravessar uma densa região de asteroides, o Cinturão Principal. Só após isso, encontraríamos o gigante Júpiter, a 770 milhões de quilômetros do Sol. Para chegar ao até bem pouco tempo último planeta do Sistema Solar, Plutão, estaríamos em média a cerca de 5,5 bilhões de quilômetros, na região de um cinturão de asteroides, o Cinturão de Kuiper. A seguir, encontraríamos uma outra região de cometas e asteroides, a Nuvem de Oort, que representa os confins do Sistema Solar. A partir daí, muito espaço vazio. O próximo Sol (outra estrela) só iria aparecer quando atingíssemos 42 trilhões de quilômetros.

O Sistema Solar ocupa apenas uma pequena fração de toda a Via Láctea, em cuja região a densidade de estrelas é considerada relativamente baixa (talvez haja um total de cerca de 400 bilhões de estrelas em toda a Via Láctea). Para que se possa formar uma visão aproximada da imensidão e da extensão do Universo, basta dizer que a Via Láctea possui um diâmetro aproximado de 100 mil anos-luz e que ela está rodando lentamente (um ano-luz tem 9 trilhões e 460 bilhões de quilômetros). Isso significa que um feixe de luz com uma velocidade de 300.000 quilômetros por segundo demoraria 100.000 anos para atravessar nossa galáxia de ponta a ponta. E ela é apenas uma das ilhas desse imenso oceano chamado Universo. Com efeito, imagens espetaculares colhidas do espaço pelo telescópio Hubble têm-nos revelado milhões de tipos diferentes de galáxias, com variados tamanhos, brilhos, formas e cores, nos mais recônditos cantos do Universo.

Ficar apenas em nossa galáxia já é lidar com uma medida muito grande, tão grande que é quase impossível conseguir imaginá-la. Dentro de nossa galáxia, existem centenas de bilhões de estrelas. Tirante alguns planetas, como Mercúrio, Marte, Júpiter, Saturno e Vênus (este último conhecido na Antiguidade como a Estrela D'Alva), visíveis a olho nu, normalmente o que se vê ao apreciar o céu noturno são muitas estrelas. Os antigos as viam formando objetos e animais no céu, o que até hoje se conhece como as constelações estelares, depois se aproveitaram seus movimentos pelo céu para a feitura de calendários e, na era dos descobrimentos, foram utilizadas como importantes guias de direção para os navegadores.

Elas são estrelas assim como o Sol o é, a diferença básica é a de que o Sol é uma estrela próxima de

nós, enquanto que as outras estão muito distantes e, aí, vemo-nas como simples pontinhos de luz azul cintilante numa noite de céu estrelado, mas elas, na verdade, apesar da aparente semelhança, possuem tamanhos, formas, cores, brilhos, propriedades, idades e distâncias diferentes. Normalmente, elas têm em comum o fato de produzirem calor e luz através do processo de fusão nuclear. Isso é o que lhes confere luz própria, diferentemente dos demais planetas e da Lua, que são escuros (não fosse o Sol, nunca veríamos a Lua e viveríamos em uma eterna noite escura)!

Em algumas épocas do ano, vistos daqui da Terra, o Sol e a Lua parecem ter tamanhos idênticos. Isso ocorre, por exemplo, no eclipse solar, quando a Lua encobre o Sol por completo, mas o Sol é incomparavelmente maior do que a Lua. Enquanto ele possui o diâmetro de 1.400.000 km, o diâmetro da Lua é de apenas 3.480 Km. Nossa ilusão visual deve-se à distância que nos separa dos dois astros. Enquanto a Lua está a 384.000 quilômetros da Terra, o Sol está a 150 milhões de quilômetros. Isso explica-se, geometricamente falando, pelo fato de a Lua representar aproximadamente 1/400 do diâmetro do Sol e estar localizada a cerca de 1/400 da nossa distância ao Sol.

A estrela (tirante o Sol) mais próxima de nós é a Alfa Centauro e está a aproximadamente 42 trilhões de quilômetros, ou seja, está 300.000 vezes mais longe do que nosso Sol. O Sol se encontra a oito minutos-luz de nós, enquanto a Alfa Centauro está a 4,3 anos-luz. John Gribbin[3] faz uma comparação interessante. Ele diz que se o Sol fosse do tamanho de uma aspirina, a estrela mais próxima dele estaria a 140 Km de distância. Entre uma estrela e outra, haveria apenas o meio interestelar vazio.

A galáxia mais próxima de nós é a SagDEG, que se situa a 80.000 anos-luz de distância (até 1994, a Grande Nuvem de Magalhães era considerada a mais próxima). Compare: enquanto a estrela mais próxima está a 4,3 anos-luz, a galáxia mais próxima se encontra a 80.000 anos-luz, entretanto existem galáxias a 10, 15, 24, 55, 100, 150, 180, 200, 400 milhões de anos-luz de nós, e essa escala se estende, entrando pela casa dos bilhões.

Com a invenção e o aprimoramento de telescópios cada vez mais potentes e sofisticados, estamos aproximando-nos cada vez mais dos limites do Universo observável, vale dizer, das bordas do Universo e, com isso, de, literalmente, ver objetos celestes que foram criados na infância do Universo, logo depois do Big Bang.

O telescópio japonês Subaru, recentemente, flagrou uma galáxia afastada de nós a aproximadamente 12,8 bilhões de anos. Ao olharmos hoje para esta galáxia através das lentes desses modernos aparelhos, estamos, na verdade, visualizando este objeto como ele era somente 900 milhões de anos após o Big Bang. Há outros observatórios, como o VLT (Very Large Telescope), do ESO (European Southern Observatory), anunciando terem vislumbrado galáxias a 13,23 bilhões de anos-luz de nós, ou seja, quando o Universo existia há apenas 470 milhões de anos. Os modernos telescópios de hoje funcionam, portanto, como verdadeiras máquinas do tempo.

---

1 A temperatura na superfície gasosa de Júpiter é de -150 graus centígrados, aproximadamente, enquanto em uma estrela do tipo solar é de 6.000 graus positivos. Júpiter possui composição química parecida com a de uma estrela, predominantemente hidrogênio e hélio.

2 Após a execução de Lavoisier, seu amigo, Joseph-Louis de Lagrange, teria proferido a frase que entraria para a história e que pode ser traduzida aproximadamente assim: “Levou somente um instante para cortar-lhe a cabeça, mas um século talvez não seja suficiente para produzir uma igual”.

3 *From here to infinity*, p. 179.

Capítulo VI

A origem do Universo

O Big Bang é um ícone cultural, uma explicação científica da criação.
GEORGE SMOOT

O ESTÁGIO ATUAL DOS ESTUDOS cosmológicos nos informa, com certa precisão e uniformidade, que a idade do Universo gira em torno de 13,7 bilhões de anos e a teoria mais aceita para explicar sua origem é a do Big Bang.

Foi preciso muito caminhar pela história da humanidade até que pudéssemos chegar ao modelo atual de explicação científica da origem do Universo. Em tempos muito remotos, a humanidade acreditou nos mitos da criação, espécies de deuses cosmológicos e sobrenaturais, para explicar a origem do Universo. Existe um modelo não científico, que nos é legado pelas religiões. Um deles, o da Igreja Católica, ensina que o Universo foi criado por Deus. Na descrição bíblica, Deus criou o céu, a terra, a água, as plantas, os animais e, por último, o homem, à sua imagem e semelhança, tudo em uma semana. Desse modelo não vamos tratar aqui. A ciência apelidou esse modelo de criacionismo, em oposição ao que se lhe autoatribui, o evolucionismo. Nesse e em outros modelos religiosos semelhantes é em que continua acreditando a maior parte dos seres humanos.

A maioria dos cientistas de hoje, entretanto, acredita na explicação fornecida pelo modelo do Big Bang[1]. Esse modelo centra-se em três premissas básicas, que mais tarde serão exploradas: Universo em expansão acelerada, radiação cósmica de fundo e origem dos elementos químicos.

O modelo do Big Bang surge somente no início do século XX, após a publicação da Teoria da Relatividade Geral por Einstein. Diferentemente da Teoria da Gravitação de Newton ou da Relatividade de Einstein, que já nasceram prontas e foram basicamente fruto da cabeça desses dois gênios, apesar da colaboração de seus precursores, o modelo do Big Bang passou por aperfeiçoamentos, acréscimos, ajustes e modificações ao longo de quase um século de existência e que se pode creditar a vários estudiosos.

Além da contribuição fornecida pela Teoria da Relatividade Geral, o modelo só foi possível desenvolver-se graças aos progressos no campo da astronomia observacional. Tirou ele proveito e incorporou até mesmo fundamentos que foram inicialmente formulados em prol da principal teoria rival, que predominou nos anos 1950 e 1960, a Teoria do Estado Estacionário (Cambridge, 1948), de Fred Hoyle, Thomas Gold e Herman Bondi[2], como a que estabeleceu a origem estelar dos elementos químicos, contribuição que se propunha a ser uma das provas a favor da Teoria do Estado Estacionário. Com efeito, em 1957, publicou-se um extenso e detalhado artigo científico que explicava a origem e a formação dos elementos químicos mais pesados no interior das estrelas e nas explosões de supernovas. Esse artigo foi cunhado pelo casal de astrofísicos britânicos Margaret e Geoffrey Burbidge, por Fred Hoyle e por William Fowler, sendo certo que os dois primeiros foram responsáveis pela parte observacional, enquanto os dois últimos cuidaram dos cálculos e da parte teórica. Este trabalho foi a mais importante contribuição que Hoyle deu para a cosmologia e ele é conhecido no meio acadêmico como B^2HF, uma referência às iniciais de seus autores.

Historicamente falando, o modelo do Big Bang é atribuído inicialmente ao padre e cosmólogo belga Georges Lemaître (1894-1966), que previu, em 1931, a hipótese de o Universo ter surgido a partir de um átomo primordial. Posteriormente, a partir da década de 1940, o físico russo George Gamow (1904-1968) trouxe novas contribuições para o modelo, ao prever que, durante o Big Bang, se havia formado os elementos químicos mais leves, como o hidrogênio e o hélio. Mais tarde um pouco, nos anos 1960, novo

alento à teoria, a partir dos trabalhos dos físicos Robert Dicke e James Peebles. Para o historiador da ciência Helge Kragh[3], no entanto, nem o trabalho teórico de George Gamow se baseou na hipótese de Lemaître, nem o de Dicke e Peebles se baseou quer no modelo de Lemaître, quer no de Gamow.

Um dos fundamentos da teoria do Big Bang é o de que se o Universo está em expansão, com as galáxias afastando-se umas das outras, é porque no passado estavam bastante próximas. Levando esse raciocínio ao extremo, concluiu-se que, na origem mais remota do Universo, toda a matéria e a energia do Universo se concentrava num único ponto, extremamente quente e denso. A multiconcentração de matéria e energia em um minúsculo espaço há 13,7 bilhões de anos ocasionou o Big Bang, que originou o espaço, o tempo e a energia existentes no Universo. A consequência dessa “explosão” é sentida até hoje, com sua contínua expansão.

Essa expressão, Big Bang, foi cunhada em tom jocoso e com desdém em março de 1949, em um dos célebres programas radiofônicos da série da BBC, de Londres, que explicavam o Universo, pelo mais ferrenho detrator da teoria, o astrofísico britânico Fred Hoyle (1915-2001), que não acreditava em um Universo com um começo marcado no tempo. Ele acreditava que o Universo sempre existira, sempre existirá e se encontrava em um estado estacionário. Posteriormente, confrontado com evidências da astronomia observacional, ele reformulou sua teoria, admitindo que o Universo estava num estado de contínua expansão, mas com criação constante de matéria, de modo a estabilizar o sistema.

A expressão Big Bang é criticada por alguns cosmólogos, que se apegam à liturgia científica ao pé da letra, por ser uma imagem que não representaria com fidedignidade a essência dos acontecimentos, visto que a rigor não teria havido uma explosão no sentido da que conhecemos hoje. No dizer de Michio Kaku[4], não houve nem um “bang”, mesmo porque não havia sons naquele momento inicial, nem podemos falar num “big”, já que o Universo surgira a partir de um ponto minúsculo. Por conta dessa incoerência técnica, vamos dizer assim, já tentaram mudar a expressão, mas não conseguiram, porquanto já está incorporada ao jargão científico mundial e é popularmente conhecida no mundo inteiro.

Pelo modelo atual do Big Bang, no início de tudo, o Universo inteiro estava espremido em um ponto de raio praticamente zero. É o momento do Big Bang, em que a densidade do Universo e a temperatura seriam quase infinitas. É um ponto de matéria e energia tão ultradenso, ultraconcentrado e ultrapequeno que, à sua frente, um minúsculo grão de areia seria visto como um objeto colossal.

Imagine um pequenino ponto como este que está dentro do parênteses (.). Diminua-o de tamanho, até desaparecer de sua vista, tornando-o invisível a seus olhos. Ele ficará mais ou menos assim: ( ). Observe-o novamente: ( ). Você não consegue enxergá-lo, não é mesmo! Mas saiba que ele está lá, dentro do parênteses. Agora passe a observá-lo através de um microscópio ótico. Diminua ainda mais seu tamanho, de modo a só poder vê-lo no mais moderno microscópio eletrônico. Agora, faça-o diminuir de tamanho ainda mais, de maneira que nem com a observação do microscópio eletrônico você conseguiria observá-lo. Pronto, você chegou no tamanho do Universo no momento do Big Bang.

Embora o Big Bang explique muita coisa e seja um modelo razoável para entendermos cientificamente o que e como ocorreu o início do Universo, além de sabermos como ele evoluiu e se desenvolveu a partir de uma estrutura praticamente invisível e minúscula para o cosmos infinito de hoje, muita coisa ainda fica de fora, o que deixa o leque aberto para a filosofia, a metafísica e a religião. De fato, a ciência não tem explicação ainda nem para o que ocorreu antes do Big Bang, nem porque ele ocorreu, nem porque havia “algo” que “explodiu”, digamos assim, ao invés de existir o “nada”.

Com efeito, a ciência assume que o Universo se iniciou a partir de um estado ultradenso, ultraquente e ultrapequeno de concentração de matéria e radiação, contudo não tem uma explicação exata para este momento (por que e como surgiu tudo isso do nada). A explicação da ciência se dá a partir desse momento.

Robert Janstrow[5] chama isso de o pesadelo do cientista: “Ele escalou as montanhas da ignorância, está quase conquistando o pico mais alto e, quando escala o rochedo final, é saudado por um bando de

teólogos sentados ali há séculos". A esperança dos estudiosos é, no futuro, poder desvendar os mistérios que cercam esse momento inicial. Aí esses teólogos terão de escalar outra montanha. Tem sido assim na história da humanidade. Para alguns cientistas, entretanto, esse mistério já está resolvido e a pergunta do que existira antes do Big Bang não faria sentido, porque antes dele existia o nada, pois foi a partir do Big Bang que se criou tanto o espaço quanto o próprio tempo.

O Big Bang é o princípio do tempo e do espaço, o princípio do Universo, nada existindo antes dele. Logo após o Big Bang, o Universo começa a expandir-se e seu volume total passa a aumentar continuamente. Universo em expansão hoje parece uma coisa relativamente lógica. Alguns se perguntam por que não se pensou nisso antes. Como uma cabeça genial como a de Newton ou a de Einstein, por exemplo, deixou passar isso, exclamam alguns, em uma espécie de anacronismo científico. Ora, a lógica do modelo gravitacional impunha alguma força para equilibrar o sistema, senão a força da gravidade acabaria por contrair o Universo, numa espécie de autoimplosão.

A solução das equações da Teoria da Relatividade Geral de Einstein está de acordo com esse modelo de Universo dinâmico, ou seja, o Universo deve se expandir ou se contrair, porém Einstein acreditava que o Universo era estático. Em 1917, ele publicou um artigo para a Academia Prussiana de Ciências intitulado "Considerações Cosmológicas da Teoria Geral da Relatividade". A Teoria da Relatividade e sua aplicação ao estudo do espaço-tempo a partir desse artigo de Einstein vai inaugurar a era dos estudos cosmológicos. Nesse sentido, Einstein pode ser considerado também o "pai" da cosmologia moderna, porque as equações einsteineanas governam a estrutura e o desenvolvimento do Universo em larga escala, representando um modelo teórico da realidade do Universo.

Para ficar coerente com seu modelo de Universo estático, que, frise-se, também era o Universo newtoniano (e que era, aliás, o modelo de praticamente todos os cientistas naqueles tempos), Einstein introduziu um termo em suas equações, mais tarde conhecido como "constante cosmológica", destinado justamente a que os cálculos ficassem coerentes com o Universo estático. No próprio artigo de 1917, Einstein admitia que a introdução da constante cosmológica em suas equações não se justificava pelo que se conhecia sobre a gravitação na época, contudo era necessária para o propósito de manter uma distribuição de matéria quase estática. A constante cosmológica constituiu, então, um artifício matemático que deixava o Universo em situação de equilíbrio. No mundo físico, é como se fosse uma força de antigravidade. A ausência daquela constante poderia explicar a expansão do Universo, tanto que Einstein, mais tarde, a classificou como o maior erro de sua vida.

O primeiro a propor um modelo diferente de Universo, coerente, entretanto, com as equações da relatividade geral, foi Willem De Sitter (1872-1934). Em 1917, De Sitter mostrou que os cálculos da Relatividade Geral também apontavam para a possibilidade de um Universo não estático. Apesar disso, na época, para o próprio De Sitter e seus contemporâneos, seu modelo representava um Universo estático. Assim, embora nos anos 1920 se tenha entendido a solução matemática para as equações da relatividade de De Sitter como um modelo de Universo estático, hoje ele é apreciado como um modelo de Universo em evolução, ou seja, como um modelo em que pela primeira vez se apresentou a possibilidade de um Universo dinâmico.

Havia uma dificuldade no modelo de De Sitter, que consistia no fato de que sua concepção exigia um Universo sem matéria, o que se mostrava fisicamente difícil de aceitar. O próprio Einstein, quando confrontado com o modelo de De Sitter, apesar de reconhecer que ele era válido matematicamente, não acreditava que correspondesse ao Universo real, e, por isso, disse-lhe: "Sua solução não corresponde a uma possibilidade física ... Em minha opinião, parece insatisfatório se um Universo sem matéria fosse possível". Posteriormente, enquanto que o modelo de Einstein ficou conhecido como o de um Universo com matéria, mas sem movimento, o de De Sitter ficou conhecido como o de um Universo com movimento, mas sem matéria.

Em 1922, o matemático russo Alexander Friedmann (1888-1925), como consequência de seu trabalho

com as equações da Relatividade Geral, havia concebido três modelos para explicar o Universo e, em uma dessas formulações, previra justamente um Universo em expansão. Friedmann imaginou um Universo que tivera um início com uma expansão inicial. Observe a novidade da hipótese de Friedmann. Universo com uma expansão inicial. Isso era a sementinha que, mais tarde, viria a germinar e desaguar no modelo do Big Bang. Para o primeiro modelo imaginado por Friedmann, a expansão inicial era tão forte, tão superior à força da gravidade, que o Universo permaneceria eternamente em expansão, sendo a força da gravidade insuficiente para contê-lo. Mais ou menos o que ocorre quando se lança um foguete acima da velocidade crítica que supera a força da gravidade e o faz entrar em órbita.

O segundo tipo de Universo, imaginado por Friedmann, é aquele em que a força de expansão consegue equilibrar-se com a força gravitacional e o Universo mantém-se em relativo equilíbrio, sendo a força gravitacional insuficiente para contraí-lo, contudo não tão fraca para permitir sua expansão infinita. O último modelo é o do Universo em que a expansão inicial não é suficiente para conter a força gravitacional e o Universo, a partir de um determinado momento, passa a contrair-se. Analogamente, é como se lançássemos um foguete com força e velocidade insuficiente para superar a atração da gravidade, e este terminasse por cair de volta à Terra.

Apesar de poder ser creditado a Friedmann a prova matemática da possibilidade da existência de um Universo dinâmico, em nenhum momento ele tirou qualquer conclusão física de seu trabalho. Friedmann era antes de tudo um matemático e foi colocada nesses termos a proposta de seu trabalho. Ele apresentou soluções matemáticas para as equações da Teoria da Relatividade de Einstein em que, em uma delas, incluiu a de um Universo não-estático, em expansão. Apesar disso, em nenhum momento afirmou que essa imagem corresponderia à realidade física do Universo. Quando foi apresentado às ideias de Friedmann, Einstein, já à época o físico mais respeitado do mundo, rejeitou-as, assinando assim a sentença de morte desta teoria para a comunidade científica de então.

Friedmann acabou falecendo precocemente, com 37 anos de idade, acometido de febre tifoide ou pneumonia, sem ver reconhecido o acerto de suas previsões, dois meses depois de ter feito um voo de balão, em que visava estudar a atmosfera.

Outro que foi, no início, desencorajado por Einstein, foi Lemaître, que também previu, em 1927, independentemente de Friedmann, a possibilidade de um modelo de Universo em expansão.

Diferentemente de Friedmann, Lemaître retirou consequências físicas das soluções matemáticas da Teoria da Relatividade Geral. Também diferentemente de Friedmann, que não fez questão de optar por qualquer das soluções matemáticas de seu modelo, Lemaître enfatizou que as soluções de seus cálculos implicavam uma realidade física que ele acreditava e que representava a expansão do Universo. Lemaître foi ainda mais longe, relacionando a expansão do Universo ao deslocamento para o vermelho das galáxias.[6]

Georges Lemaître foi um sujeito que abraçou simultaneamente duas profissões e duas paixões, a de físico e a de padre. Quando Lemaître, após a publicação de seu trabalho, apresentou a hipótese a Einstein, este, assim como havia feito com as ideias de Friedmann, também as rejeitou, o que lhe causou um profundo desapontamento. Entretanto, tempos depois, um Einstein hesitante teria aceito o modelo de Lemaître. O problema maior, além da oposição de Einstein, que não era pouca coisa, era que o modelo de um Universo em expansão estava carente de comprovação empírica. Lembremo-nos que, em 1927, o trabalho de Hubble ainda não havia sido publicado. Assim, muito embora a presença da constante cosmológica fosse um artifício nas equações de Einstein, a ausência de qualquer indício na natureza de que o Universo estivesse expandindo-se não ajudava a provocar qualquer alteração na crença generalizada em um Universo estático e imutável.

Tudo isso iria mudar a partir do início dos anos 1930. Por esta época, começou a se estabelecer certo consenso quanto à possibilidade real de que o Universo fosse não estático. Dois respeitados teóricos, Eddington e De Sitter, após tomarem consciência do trabalho de Lemaître, passaram a apoiá-lo e a

divulgá-lo. Foi por esta época também que o trabalho de Hubble, que comprovava o deslocamento para o vermelho da maioria das galáxias, foi incorporado à cosmologia que surgia a partir de então.

Pode-de dizer, portanto, que a aceitação, pela comunidade científica, do modelo de um Universo em expansão, que emerge da Teoria da Relatividade e pode ser comprovado pela observação do afastamento das galáxias, só foi estabelecido em bases firmes a partir de 1930. E nessa época, ainda não se falava em Big Bang.

A palavra "Big Bang" nunca fez parte do vocabulário de Lemaître (nem do de Gamow), mas aquilo que se entende hoje como o modelo do Big Bang em cosmologia, sem dúvida se inicia com este padre e cosmólogo belga e, por isso, ele é considerado o precursor do modelo.

Com efeito, em 1931, editou-se um artigo de Lemaître na revista *Nature* sob o título: "O começo do universo do ponto de vista da teoria quântica". Nele, Lemaître afirmava: [Princípios termodinâmicos do ponto de vista da teoria quântica podem ser enunciados assim: (1) Uma quantidade total constante de energia é distribuída em discretos "quanta". (2) O número de "quanta" está sempre crescendo. Se nós retornarmos no tempo encontraremos cada vez menos "quanta" até que toda a energia do universo seja encontrada em poucos ou mesmo num único "quantum"].

Escreveu, ainda, Lemaître, em 1931, que podemos conceber o início do Universo na forma de um único átomo que continha toda a massa do Universo e que este átomo, altamente instável, se dividiu em pedaços cada vez menores, em um tipo de processo superradioativo.

Percebe-se, claramente, a influência dos novos estudos da radioatividade (física quântica), na explicação fornecida por Lemaître para o início do Universo.

Ainda neste mesmo ano de 1931, participando de um encontro científico realizado pela Associação Britânica para o Progresso da Ciência, Lemaître afirmou: "Na origem, toda a massa do Universo estava concentrada num único átomo. O raio do Universo, embora não fosse estritamente zero, era relativamente pequeno. O universo inteiro deve ter sido produzido pela desintegração desse átomo primordial". O que Lemaître imaginava era uma espécie de fissão nuclear.

Lemaître, portanto, iniciou o modelo do Big Bang em uma tentativa de associação entre a Teoria da Relatividade, que usava para explicar a expansão do Universo, com a física quântica, que tentava empregar para fornecer uma explicação racional e aceitável para a origem do Universo. Foi por esses caminhos que a ciência da cosmologia progrediu ao longo deste século, por cuja estrada ainda caminhamos e, cujo ponto final ainda não conhecemos. Assim, pela primeira vez, Lemaître, atento aos progressos da nascente física quântica, tentava incorporá-la, mesmo que de modo ainda rudimentar, à explicação de um modelo científico da origem do Universo. Nascia assim a Teoria do Big Bang.

O modelo do Big Bang, todavia, teve de esperar ainda muito tempo para ser aceito pela comunidade científica. O que os cientistas, em geral, passaram a aceitar, a partir de 1930, foi a teoria de Lemaître de 1927 para a expansão do Universo, decorrente da Teoria da Relatividade, associado ao afastamento das galáxias observado por Hubble, mas a teoria da origem do Universo a partir de um átomo primordial, do mesmo Lemaître, de 1931, não teve nem aceitação, nem repercussão na comunidade científica, por pelo menos a década seguinte. Até mesmo os respeitados Eddington e De Sitter, que apoiaram o modelo de expansão de Lemaître, de 1927, rejeitaram a hipótese do átomo primordial para o origem do Universo, de 1931.A mudança no quadro geral só vai começar a aparecer lentamente, a partir dos trabalhos de Gamow. As pesquisas de Gamow acerca da formação dos elementos vão levar novo alento à teoria do Big Bang. Como físico nuclear, Gamow vai concentrar seus trabalhos nessa nova área de pesquisa cosmológica. O modelo de Gamow descreve um Universo que surgira a partir de uma reação nuclear em um estágio superdenso de matéria. Seus discípulos, Ralph Alpher (1921-2007) e Robert Herman (1914-1997), vão aperfeiçoar os cálculos do modelo e contribuir com luz própria para o desenvolvimento da teoria. Mas para entendermos como o modelo vai estabelecer-se, temos de voltar um pouco no tempo.

No início dos anos 1920, produziram-se duas das maiores descobertas cosmológicas de todos os

tempos. Primeiro, descobriu-se que o Universo era muito maior do que suspeitávamos. Até aquela época, a maioria da comunidade científica partilhava da opinião de que a Via Láctea era a única galáxia do Universo. Edwin Hubble (1889-1953), que se havia formado em Direito para atender ao desejo do pai antes de optar por sua verdadeira paixão, a astronomia, com a contribuição anterior de outros cientistas, conseguiu provar que as nebulosas avistadas daqui pelos nossos telescópios, e que se suspeitava fazerem parte da nossa galáxia, estavam, na verdade, para além do Sistema Solar e se constituíam em outras galáxias. A partir desse momento, descobriu-se que o fim de nossa galáxia não marcava o fim do Universo!

Depois, acabou-se o mito de que o Universo era estático. Descobrimo-no em expansão. Isso ocorreu quando astrônomos, tendo como precursor o americano Vesto Melvin Slipher (a partir de 1912) e mais tarde o próprio Hubble e seu ajudante Milton Humason, começaram a examinar os espectros das estrelas de outras galáxias [7] e descobriram que a maioria delas se afastava da nossa. O primeiro trabalho foi publicado por Slipher, que era especialista em analisar a espectroscopia estelar, em 1912. Slipher observou que a galáxia de Andrômeda tinha o espectro apontando para o azul. Dois anos depois, em 1914, Slipher anunciou, em um encontro da Sociedade Americana de Astronomia, que, após examinar o espectro de mais treze galáxias, verificou que a maioria delas estavam desviadas para a região vermelha do espectro. Posteriormente, em 1917, publicou um artigo em que anunciava o resultado da análise espectroscópica de 25 galáxias, constatando que 21 delas se encontravam desviadas para a região vermelha do espectro.

Em seguida, o trabalho de Hubble, publicado em 1929, vai terminar por consagrar e, sobretudo, confirmar (embora o próprio Hubble não tenha sugerido isso em suas observações), a concepção teórica de um Universo em expansão, conforme previra Friedman, coerente com a Teoria da Relatividade de Einstein. Assim, embora o trabalho de Hubble tenha sido seminal e determinante para a conclusão de que o Universo estivesse em expansão, essa conclusão não foi inferida por ele, mas por outros cientistas. Hubble apenas apresentou os dados observacionais que mostravam que a maioria das galáxias apresentava um desvio para o vermelho no espectro, porém não quis comprometer-se com a interpretação de suas observações.

Como vimos, o modelo do Big Bang possui alguns pressupostos teóricos, dentre eles o de que o Universo não é estático, o que vem a significar que ele se expande. Na raiz do modelo, portanto, encontramos a Teoria da Relatividade de Einstein. A previsão teórica do modelo passa obrigatoriamente pela teoria einsteniana do espaço-tempo dinâmico. Esse modelo teórico encontrou o respaldo empírico através da astronomia observacional, especialmente com o emprego do telescópio de cem polegadas, com espelho de 2,5 metros de diâmetro, o maior telescópio do mundo na época, instalado no observatório de Mount Wilson, na Califórnia, onde Hubble trabalhava.Os vinte anos que medeiam o início do século XX (1910-1930) podem ser considerados, assim, os anos em que a teoria do Big Bang teve suas bases estabelecidas.

Vamos, agora, tentar compreender como foi comprovado que o Universo se expandia, com as galáxias afastando-se de nós. Examinar o espectro de uma estrela significa observar sua luminosidade. Ocorre mais ou menos assim: quando a luz da estrela (como o Sol, por exemplo) passa por um prisma, ela se decompõe em várias cores, cujas extremidades vão do vermelho ao violeta. As cores que observamos dizem respeito à frequência das ondas de luz.

Luz, portanto, é uma forma de energia radiante captada por nossos olhos, ou, dito de outra forma, a luz são vibrações eletromagnéticas, oriundas dos elétrons, que se propagam pelo espaço através de uma determinada faixa de frequência, sensível ao olho humano.

Observe-se que, apesar da aparente incredulidade, nem tudo que existe na natureza conseguimos captar pelos nossos sentidos. A natureza é muito mais rica do que podemos imaginar e a estrutura do Universo é

profundamente diferente do que ela aparenta ser, de maneira que os cinco sentidos de que nos dotou a natureza são incapazes de alcançar em toda sua plenitude seu real sentido e significado.

Um exemplo disso são as ondas representadas pela radiação eletromagnética. Todas essas ondas deslocam-se com a mesma velocidade - a velocidade da luz, justamente porque a luz é uma subespécie dessas ondas. A ciência classificou e nominou essas ondas em uma zona chamada de espectro eletromagnético, de acordo com o comprimento e a frequência dessas ondas.

A luz, por exemplo, é perfeitamente captada pelo nosso sentido da visão, todavia há outras ondas eletromagnéticas como a luz, que não conseguimos enxergar, apesar de existirem. Assim, o infravermelho, raios X, raios gama, raios ultravioleta, ondas de rádio e as micro-ondas ocupam uma determinada faixa de frequência do espectro eletromagnético inalcançáveis pelo olho humano, porém visíveis por aparelhos que o homem inventou, como os radiotelescópios, os telescópios de raios-x, de infravermelho, de ultravioleta, de raios gama e de micro-ondas, muito importantes para a astronomia observacional, porque as estrelas e as galáxias emitem radiações em praticamente todas as ondas do espectro eletromagnético.

O que faz essas radiações serem "incaptáveis" pelos nossos sentidos humanos é a diferença no comprimento e na frequência de suas ondas. Frequência é o número de vezes por segundo necessário para percorrer a distância entre duas cristas da onda ou quantas vezes a onda se repete em um determinado intervalo de tempo (por exemplo, um segundo). As cores que compõem a luz de uma estrela vista através de um prisma são sete (as sete cores do arco-íris): vermelho, laranja, amarelo, verde, azul, azul-marinho e violeta, como percebido por Newton em sua famosa experiência no século XVII (as gotículas de vapor na atmosfera em dias chuvosos funcionam como o prisma de Newton e são responsáveis pela formação do arco-íris). Tudo o que o olho humano consegue captar se situa na frequência de ondas representada por essas cores. As cores componentes do espectro de luz visível (as sete cores do arco-íris) representam menos de um por cento do espectro eletromagnético e sua frequência, medida em hertz, é de cerca de cem trilhões de vezes por segundo [o Hz (hertz) é uma unidade de frequência. Um hertz é igual a um ciclo por segundo].

Na época de Hubble, astrônomos observaram que os raios de luz vindos das outras galáxias apresentavam um desvio para o vermelho. Ora, se não existisse esse desvio, significava que as outras galáxias se encontravam sempre a uma distância regular da nossa. O desvio para o vermelho indicava que o comprimento da onda de luz que chegava até nós estava se alongando. O alongamento dessa onda, representado pelo desvio do espectro para o vermelho, indicava que a fonte da onda de luz provinda de outras galáxias estava afastando-se da nossa.

Esse é o conhecido efeito "doppler", o análogo para a luz do efeito sonoro. Dentro da zona visível do espectro eletromagnético, as ondas mais curtas são percebidas como azuis e as mais alongadas como vermelhas. É claro que se encurtamos demais essas ondas, deixarão de ser percebidas com a cor azul e entrarão na zona do invisível para nós. Da mesma forma, se alongarmos demais essas ondas, deixarão a zona do vermelho visível e entrarão na zona do invisível para nós. O comprimento de uma onda de som ou de luz aproximando-se de nós diminui e sua frequência aumenta – a frequência fica maior e o comprimento diminui na aproximação do observador, produzindo-se sons agudos e luz azulada; ao passo que se afastando, o comprimento da onda aumenta e a frequência diminui, produzindo-se sons graves e desvios para o vermelho. Isso é muito visível para nós nas corridas de Fórmula 1, a que assistimos pela televisão. Quando o carro está se aproximando, a onda está se comprimindo em relação ao observador, e ele emite um som agudo. Ao passar por nós, a onda começa a se afastar e a se alongar, e esse som transforma-se em um som grave.

Assim, se as galáxias estivessem se aproximando de nós, seria observado o desvio no espectro para a cor azul. Afastando-se da Via Láctea, como elas estão, o desvio no espectro é para o vermelho.Uma das implicações dessa constatação científica é a de que, se as galáxias hoje estão cada vez mais afastadas de

nós, e a cada dia se afastam ainda mais, isso implica que, no passado, estavam cada vez mais próximas e este fato mantém-se em harmonia e é coerente com a explicação que emerge do modelo do Big Bang.

Observe-se, contudo, que este efeito somente vale para o mundo extragaláctico. Dentro da Via Láctea, e em suas proximidades, os outros planetas não estão se afastando do Sol, nem estão se afastando entre si. A explicação para este fenômeno é a de que a expansão não ocorre dentro das galáxias devido ao efeito da atração gravitacional entre os corpos. Como o Universo é, basicamente, um nada cósmico, com uns poucos pontinhos aqui e ali muito espaçados (as galáxias), as enormes distâncias que as separam são suficientes para diminuir o efeito da força gravitacional a ponto de permitir a expansão e o afastamento entre as galáxias, mas, se as galáxias estiverem muito próximas, a força da gravidade é suficiente para aproximá-las e não para afastá-las. A galáxia de grande porte mais próxima da Via Láctea, Andrômeda, de tamanho duas vezes maior que a nossa, está-se aproximando e calcula-se que, em aproximadamente cinco bilhões de anos, essas duas galáxias vão colidir, fundindo-se e tornando-se uma única galáxia.

Uma outra consequência das descobertas do trabalho de Hubble é que se conseguiu calcular a própria idade do Universo. Com efeito, a partir das observações de Hubble, chegou-se a uma lei física para a velocidade e o tempo do afastamento das demais galáxias da Via Láctea. Modernamente, já se consegue medir com bastante precisão a distância e a velocidade de afastamento das galáxias. Com essas duas variáveis (distância e velocidade), consegue-se calcular o tempo. Essa lei é expressa em uma fórmula chamada de, a “Constante de Hubble”. O valor atual da Constante de Hubble é de 21,8 km/s/milhão de anos-luz. Invertendo-se a Constante de Hubble, conseguimos calcular, grosso modo, a idade do Universo, assumindo-se uma taxa de expansão uniforme.

No passado, entretanto, como não se tinham valores exatos para as distâncias das galáxias, os primeiros cálculos deram como resultado a idade do Universo em 2 bilhões de anos, o que implicaria o paradoxo do Universo ser mais novo do que o planeta Terra. Posteriormente, com o aperfeiçoamento das técnicas de medição das distâncias e das velocidades de afastamento, chegou-se ao valor moderno de 13,7 bilhões de anos para idade do Universo.

Ocorre que hoje em dia, são construídos telescópios terrestres e espaciais cada vez mais sofisticados e potentes. Esperamos que um desses aparelhos não venha a indicar, no futuro, a observação de objetos cujas idades sejam maiores do que a idade do próprio Universo. Até agora, isso não aconteceu e os objetos mais antigos observados chegam a aproximadamente meio bilhão de anos após o Big Bang, mas se isso vier a ocorrer no futuro, seria, então, um novo paradoxo para a ciência desvendar.

Uma outra descoberta surpreendente ajudou a pavimentar o caminho da Teoria do Big Bang. Estudando a luz emitida por galáxias distantes, astrônomos concluíram que a luz advinda dessas galáxias, que ficou batizada por “radiação cósmica de fundo”, representa a luz emitida no Universo inicial quente, que hoje se manifesta na forma de ondas de alguns centímetros, invisíveis ao olho humano, as micro-ondas. É como se fosse um rastro muito tênue de calor que teria sobrado da origem do Universo e esse calor é propagado pelo espaço através da radiação cuja temperatura é tão baixa que as ondas transmissoras de sua radiação diminuíram tanto de frequência que só são registradas hoje na região das micro-ondas do espectro eletromagnético. Com efeito, no passado, nosso Universo era um só corpo de matéria e radiação muito mais quente e denso do que é hoje. Ao se separarem, matéria e radiação deixaram um rastro, uma pista que nos liga ao passado. É o que chamamos de radiação cósmica de fundo, detectável em micro-ondas eletromagnéticas. Até hoje nosso Universo inteiro é permeado por um oceano de radiação térmica emanada do calor residual deixado pelo Big Bang, quando ele tinha a idade de 380.000 anos. Essa radiação é um fóssil da época em que o Universo era como que uma sopa quase perfeitamente uniforme de matéria e radiação. O Universo vem-se expandindo e se resfriando desde essa época remota.

A previsão teórica da radiação cósmica de fundo ocorreu em 1948. Com efeito, naquele ano, George Gamow, juntamente com Ralph Alpher e Hans Bethe (este último apenas cedeu seu nome para que o

artigo completasse as iniciais gregas para alfa-beta-gama), publicaram um artigo científico, que mais tarde ficaria famoso, em que sustentavam que ainda hoje seria possível observar a radiação emitida na forma de fótons (fóton é a unidade quântica da radiação eletromagnética. Ele é a partícula sem massa formadora da luz) pelo Big Bang.

O trabalho deveu-se basicamente a Ralph Alpher e Robert Herman.[8] Embora tivesse assinado o artigo, Gamow, a estrela do grupo, passou alguns anos para finalmente aceitar as previsões dos dois físicos menos famosos e, a partir daí, a propagá-la. Aos poucos, os cálculos mostrados no artigo foram sendo ainda mais refinados por Alpher e Herman, culminando com um artigo elaborado por Alpher, Herman e também por James Follin, publicado em 1953.

Depois dessa descoberta, a Teoria do Big Bang de Gamow entrou em uma década de ostracismo. Portanto, sem dúvida, Gamow, ao lado de Lemaître, é um dos precursores do modelo do Big Bang, mas quanto à previsão teórica da radiação cósmica de fundo, esta cabe apenas a Alpher e Herman.

O próximo passo seria confirmar a previsão teórica de Alpher e Herman, mas ocorre que poucas pessoas trabalhavam com cosmologia àquela época e, menos ainda, se preocupavam em detectar essa possível radiação. Hoje sabe-se que essa radiação existe e permeia todo o espaço desde 380.000 anos após o Big Bang. Antenas preparadas para aferir essa medição podiam detectá-la e de fato isso ocorreu, embora sem que se fizesse registro dessa experiência ou sem que se pudesse associá-la à cosmologia do Big Bang. O assunto que dominava a cosmologia na década de 1950 não era a radiação cósmica de fundo, mas o debate que se travava entre a Teoria do Estado Estacionário (de Fred Hoyle) e a do Big Bang (de Gamow).

A partir dos anos 1940, principalmente após o avanço tecnológico produzido pela guerra, foi possível desenvolver antenas capazes de detectar essa radiação em todo o mundo. Na literatura especializada, há relatos de diversas experiências que, de uma maneira ou de outra, se aproximaram bastante da descoberta e da confirmação da radiação cósmica de fundo, como os trabalhos de Adams, Dunham e Mckellar, nos Estados Unidos, em 1940/1941; a experiência de Dicke, nos Estados Unidos, em 1946; a de Covington, no Canadá, em 1950; a de Haruo Tanaka, no Japão, em 1951; a de Lequeux e Le Roux, na França, em 1954; a de Shmaonov, na União Soviética, em 1957; a de Edward Ohm, nos Estados Unidos, em 1961, a de William Rose, nos Estados Unidos, em 1962; a de Doroshkevich e Novikok, na União Soviética, em 1964.

Mas a experiência que entrou para a história mesmo foi a de 1965, de Arno Penzias e Robert Wilson, dois físicos americanos empregados de uma companhia telefônica, e ocorreu por acaso. Com efeito, eles comprovaram definitivamente, na prática, o que só se havia predito em teoria, ao descobrirem um ruído esquisito, enquanto trabalhavam com uma antena enorme, com um detector muito sensível de micro-ondas. Feitas várias tentativas de limpá-la e de eliminar o ruído, não conseguiram. O barulhinho persistia. Estavam acabando de detectar fósseis da radiação cósmica emanada do Big Bang, mesmo sem terem a menor ideia do que aquele ruído representava.

Por volta daquela época (1965), o físico teórico de Princeton, James Peebles, defendia a hipótese da fabricação dos elementos mais leves, o hidrogênio e o hélio, no início do Universo, a mesma tese defendida por Gamow, Alpher e Herman no final da década de 1940, embora provavelmente não tivesse ciência do trabalho anterior desses três. Esta ideia fazia parte de sua pesquisa desenvolvida sob a orientação de Robert Dicke. Dicke havia também pedido a Peebles que se encarregasse dos cálculos teóricos da radiação cósmica de fundo, tendo Peebles chegado a valores relativamente próximos dos que são hoje aceitos. Peebles não sabia, nem Dicke, do trabalho anterior de Alpher e Herman (1948) e também não sabia que, um pouco antes de ser concluído seu trabalho, do outro lado do mundo, na União Soviética, os físicos Doroshkevich e Novikok, oriundos de um importante grupo de pesquisas liderado por Yakov Zel’dovich, haviam chegado a cálculos semelhantes, em trabalho publicado pela dupla em 1964. Em outra frente, Dicke encarregou os físicos experimentais David Wilkinson e Peter Roll de

construírem uma antena semelhante a que ele próprio inventara duas décadas antes, para que pudessem detectar a radiação, o que estava sendo feito.

Enquanto isso, conversando com o radioastrônomo Bernard Burke, do MIT, foi sugerido a Penzias que procurasse o grupo de Princeton, pois eles poderiam ter a resposta para aquela radiação. Com efeito, Burke tinha ouvido de seu amigo Ken Turner a respeito de um colóquio apresentado havia pouco tempo por James Peebles, em que ele apresentava cálculos da radiação cósmica de fundo emanada do Big Bang. Foi quando Dicke recebeu uma ligação de Penzias contando a descoberta. Naquele momento, Dicke percebeu que ele e seu grupo haviam sido literalmente “passados para trás”!

Logo em seguida, em julho de 1965, Robert Dicke, James Peebles, Peter Roll e David Wilkinson publicaram um artigo científico na revista *Astrophysical Journal*, interpretando a descoberta feita por Penzias e Wilson, que, por sua vez, também publicaram um artigo relatando a descoberta na mesma revista e ao lado do artigo do grupo de Princeton. Dias depois, estampava-se a manchete no *The New York Times*: “Sinais implicam num Universo com um Big Bang”. Por esta descoberta, Penzias e Wilson foram laureados em 1978 com o Prêmio Nobel, uma certa injustiça com Alpher e Herman, que haviam originariamente previsto teoricamente a radiação, ou mesmo para o grupo de Princeton, comandado por Dicke, que havia, independentemente e sem saber do trabalho anterior de Alpher e Herman, chegado a conclusões semelhantes, enquanto construía uma antena para detectar a radiação.

O que Penzias e Wilson detectaram na antena era, na verdade, a radiação originada da luz proveniente do Big Bang, na forma de um gás de fótons que permeia todo o Universo. É como se estivessem vendo a incandescência do Universo primitivo ou o que restou dela. E o que restou era tão fraquinho, tão fraquinho, que só se podia detectá-lo pela sua radiação em forma de micro-ondas, não sendo mais possível vê-la como luz visível propriamente.

Parte dessa mesma radiação (cerca de um por cento) é aquela que detectamos no chuviscado de nossos aparelhos de TV, quando não estão sintonizados em nenhum canal.

Nos dias de hoje, dois importantes satélites espaciais, o COBE e o WMAP, detectaram, com muita precisão, as medidas desta radiação cósmica de fundo em micro-ondas. E talvez o mais importante, eles comprovaram a existência de pequenas inomogeneidades na temperatura cósmica de fundo, o que vem a explicar a origem das galáxias.

Pode-se prever muita novidade para os próximos anos no modelo teórico do Big Bang, com a entrada em operação dos satélites espaciais Planck e Herschel e, do LHC, o grande colisor de partículas instalado no CERN, na Suíça.Durante muito tempo, a astronomia e a física das partículas viveram separadas, mas a união delas hoje é imprescindível para a formulação correta do modelo cosmológico da origem e da evolução do Universo. Nos próximos capítulos, veem-se a utilidade e a interrelação do que estamos falando com o que aprendemos no primeiro capítulo.

O modelo do Big Bang vem sendo refinado ao longo do tempo, com a contribuição de diversos teóricos e com os acréscimos formulados pela Teoria da Inflação, pela Teoria das Cordas e pelo seu desdobramento, a Teoria-M.

Assim, Alan Guth (1947-), um desses teóricos, deu uma importante contribuição ao modelo, ao preconizar que o Universo, em um brevíssimo tempo após o Big Bang, teve uma expansão extraordinária, algo em torno de um aumento de tamanho da ordem de 1 milhão de trilhões de trilhões de vezes em menos de um milionésimo de trilionésimo de trilionésimo de segundo, ou aproximadamente 10^{50} (é como se uma molécula de DNA se expandisse para o tamanho da Via Láctea em bem menos de um bilionésimo de bilionésimo de bilionésimo de segundo). Essa velocidade de expansão do Universo supera em muito a velocidade da luz. Para não se contrapor ao limite da velocidade universal, argumenta-se que o que se expande é o próprio espaço e não partes, corpos ou partículas que estejam dentro deste espaço.

A Teoria da Inflação ajuda a explicar o equilíbrio térmico presente atualmente em todo o espaço

sideral, praticamente igual em qualquer pontinho da imensidão do cosmos (em torno de -270 graus centígrados). Os cientistas indagavam-se como era possível essa harmonia cósmica na temperatura do Universo, mantidas as distâncias de milhões de anos-luz. A Teoria da Inflação de Guth explica-a como se dois pedaços do Universo, que estavam bastante próximos, fossem infinitamente afastados, em uma velocidade praticamente instantânea. Esse afastamento súbito manteria a temperatura igualzinha a que existia antes da separação, o que não ocorreria se a expansão fosse lenta e gradual. Logo após essa imensa inflação no tamanho do Universo, este passou a se expandir bilhões de vezes mais lento.

Por outro lado, a aplicação da Teoria das Cordas e da Teoria-M ao modelo do Big Bang, em que se verificam situações extremas na natureza (distância de Planck, temperatura, densidade e pressão tendentes ao infinito), tem-se revelado bastante frutífera, porque elas trabalham com o emprego simultâneo da Relatividade Geral e da mecânica quântica, algo exigido nessas situações-limite.

O modelo do Big Bang exige essa conciliação, já que nele a densidade do Universo é muito grande, devendo-se aplicar as leis da Relatividade Geral, enquanto que seu tamanho é submicroscópico, devendo-se aplicar as leis da mecânica quântica. Em decorrência disso, essas teorias promovem dois acréscimos importantes ao Big Bang. Primeiro, explicam que as quatro forças da natureza, por causa das altas temperaturas no Big Bang, fundiram-se em apenas uma única força. Com o resfriamento, foram-se separando e se ordenando adequadamente. Segundo, eliminam os inconvenientes matemáticos do zero (tamanho do Universo) e do infinito (densidade e temperatura do Universo), propondo sua substituição pela ordem de grandezas de Planck.

Com efeito, de acordo com o modelo original do Big Bang, na singularidade do Big Bang (tempo zero), o Universo possuía tamanho zero, densidade e temperatura infinitas. Esses resultados estão conforme os cálculos resultantes das equações da relatividade geral. Para se evitar esses inconvenientes absurdos, propõe a Teoria das Cordas que, nesse momento singular, o Universo possuía o tamanho, a temperatura e a densidade de Planck. Mesmo assim, as grandezas de Planck são só um pouquinho maiores do que o zero. O ponto em que toda a matéria e a energia se encontravam espremidas é da ordem de cem bilhões de bilhões de vezes menor do que um átomo.

A formação da matéria no Universo

O Universo primordial era muito quente e denso e consistia basicamente em uma espécie de gás ou plasma de partículas e radiação. Logo após o Big Bang (bem logo após, mais precisamente no tempo de Planck: 10^{-43} segundos, ou 0,0000000000000000000000000000000000000001 segundo, isto representa 10 milionésimos de trilionésimo de trilionésimo de trilionésimo de segundo depois do Big Bang), a temperatura no Universo era tão elevada (da ordem de 10^{32} graus), isso representa cerca de 100 milhões de trilhões de graus, ou seja, 10 trilhões de trilhões de vezes mais quente do que o centro do Sol, seu volume era tão extraordinariamente concentrado (10^{94} gramas por cm^3), seu raio era tão reduzido (da ordem de 10^{-35} m), que nem mesmo os elementos químicos hoje conhecidos puderam existir, e a matéria, a energia e as forças da natureza eram indistinguíveis e inseparáveis.

A mais ou menos 10^{-34} seg, ou seja, a 10 bilionésimos de trilionésimo de trilionésimo de segundo, ocorreu a expansão inflacionária do Universo e a temperatura começou a baixar.[9] Após algum tempo, a matéria começou a se aglutinar. Naquele estágio extraordinariamente quente da matéria e, após ela arrefecer para um determinado ponto crítico, quarks se uniram para formar prótons e nêutrons. Da interação de prótons, nêutrons, fótons, elétrons, neutrinos, começaram a surgir os primeiros átomos de elementos químicos mais leves, como o hidrogênio e o hélio.

As altíssimas temperaturas e pressões presentes no interior das estrelas são responsáveis pela conversão (fusão) dos elementos mais simples em mais complexos. Assim, o hidrogênio transforma-se em hélio, que, por sua vez, em temperaturas e pressões extraordinariamente elevadas, se transforma em carbono. Daí em neônio, magnésio, oxigênio, enxofre, silício, ferro. Somente com a morte e consequente explosão de algumas estrelas, chamadas de supernovas, é que foi possível a formação de elementos ainda mais pesados do que o ferro, como o cobre, níquel, zinco, ouro, chumbo e urânio. Agora vamos detalhar um pouco mais essa história.

Vimos que a descrição da origem do Universo ocorre a partir do tempo de Planck. Se algo ocorreu antes desse tempo, a física não tem condições de dar respostas no momento, pois só se pode contar o que se passou a partir do tempo de Planck, mas esse tempo é tão exíguo que praticamente podemos considerar este momento como T=0 literalmente. Alguns chamam esse momento específico do tempo de “singularidade”. Este é o momento do Big Bang.

Antes de se haver passado o primeiro milissegundo da origem do Universo, só existiam as duas classes de partículas fundamentais que compõem os átomos, os quarks e os léptons, mais suas respectivas antipartículas, entrelaçadas às partículas de força, os bósons, formando-se uma sopa única, bastante misturada, de matéria e radiação.

Nessa época, não existiam ainda os prótons e os nêutrons. Seus componentes (quarks) encontravam-se livres e dispersos, misturados à radiação. Nesse momento, a temperatura no Universo era da ordem de cem milhões de trilhões de graus centígrados. Toda a matéria, a energia e as forças da natureza estavam misturadas e concentradas em um ponto de tamanho pouco maior do que o raio de Planck (10^{-35} m).

O fenômeno da inflação, expandindo o Universo, teria ocorrido logo em seguida, a 10^{-34} seg, ou seja, a 10 bilionésimos de trilionésimo de trilionésimo de segundo. Depois disso, a temperatura do Universo baixou um pouco e as forças da natureza começaram a se separar, enquanto se desenvolvia o excesso da matéria sobre a antimatéria.

Assim, o Universo inicia-se no Big Bang com as quatro forças da natureza unificadas como uma única superforça. Conforme a temperatura do Universo vai decrescendo, as forças da natureza começaram a se separar. A primeira a se separar das demais é a força da gravidade. Depois, a força nuclear forte separou-se da força eletrofraca. Por último, a força nuclear fraca separou-se da força eletromagnética.

Posteriormente, quando a temperatura dessa densa sopa de partículas livres em constante interação baixou ainda mais para um determinado ponto crítico, é que se permitiu a união de três quarks em

estruturas coesas, formando-se os prótons e os nêutrons, ou seja, os núcleos dos átomos só foram formados quando a temperatura desta sopa primordial atingiu a temperatura física adequada para permitir que os quarks, que formam essas partículas, pudessem combinar-se e, através da interação da força nuclear forte, transmitida pelo glúon, manterem-se unidos.

Dessa maneira, formaram-se os primeiros núcleos atômicos. Repare-se que nenhum átomo propriamente dito ainda existia. Os primeiros núcleos formados foram dos elementos químicos mais leves, o hidrogênio, o deutério, o trítio e o hélio. Primeiro, um nêutron uniu-se a um próton (núcleo do hidrogênio) para formar um núcleo de deutério. Depois o deutério uniu-se a outro nêutron para formar o trítio e, por fim, o trítio uniu-se a um próton para formar um núcleo de hélio.

Repare, como dissemos, que até esse momento, elétron algum se havia combinado para formar um átomo. Os primeiros átomos de hidrogênio, formados a partir da combinação de um próton com um elétron, só surgiram quando a temperatura do Universo baixou ainda mais. Os cosmólogos calculam que isso somente ocorreu quando o Universo tinha a idade de 380.000 anos. Essa era eles batizaram de era do desacoplamento. É quando a matéria se separou da radiação, tornando o Universo pela primeira vez visível e transparente.

Os primeiros átomos do Universo se formaram, portanto, há cerca de 380.000 anos após o Big Bang. Resquícios dessa separação, ou desacoplamento matéria/radiação, são justamente o que compõem hoje a radiação cósmica de fundo em micro-ondas.

Àquela época a radiação era extremamente quente. Ao longo dos bilhões de anos de expansão do Universo, ela vem se resfriando e, hoje, encontra-se no patamar de pouco menos de três graus acima do zero absoluto, ou seja, a -270º C. Como somente a partir do desacoplamento matéria/radiação o Universo tornou-se visível a nossos olhos, jamais conseguiremos enxergar como ele era antes de 380.000 anos após o Big Bang, mesmo que inventemos o mais potente telescópio.

A nucleossíntese do Big Bang só formou os elementos mais leves (hidrogênio, deutério, lítio e hélio). Em maior abundância, formaram-se os átomos de hidrogênio (cerca de três quartos), depois vieram os átomos de hélio (cerca de um quarto) e depois traços de deutério e lítio. Todos os elementos químicos mais pesados foram produzidos mais tarde, no interior das estrelas. Quando essas estrelas morrem, expelem o material processado em seu interior, reciclando o meio interestelar. Normalmente uma estrela queima o hidrogênio, transformando-o em hélio, mas as temperaturas necessárias para a produção de elementos químicos mais pesados só são atingíveis quando essas estrelas estão perto de seus fins. Se a estrela for do tipo solar, ao se transformar em uma gigante vermelha, produz elementos químicos mais pesados, como o carbono, que são expelidos na nebulosa planetária que se forma após sua morte. Se for muito maior do que o Sol, poderá explodir (supernova), ocasião em que consegue fabricar elementos ainda mais pesados. Assim, paulatinamente, foram formados todos os elementos químicos que existem na tabela periódica. Primeiro os mais leves, depois os mais pesados.

A divisão da matéria é feita, tradicionalmente, em três estados ou fases: líquido, sólido e gasoso. A substância permanece a mesma, mas as propriedades mudam, porque muda o arranjo interior dos átomos dentro da matéria. As mudanças na temperatura (e na pressão) podem alterar o estado da matéria. Veja o exemplo clássico da água, seu estado muda de sólido (gelo) para água líquida, quando sua temperatura ultrapassa o zero grau celsius. Quando a matéria está em uma temperatura mais fria, a tendência são os átomos se manterem mais unidos. Na água em estado sólido (temperatura mais fria – gelo), os átomos se encontram mais unidos do que na água em fase líquida. Ao atingir os 100 graus centígrados, novamente muda de estado, passando para a fase gasosa. Aí os átomos se tornam ainda mais dispersos.

Ocorre que existe um quarto estado da matéria, chamado de estado de plasma. Um plasma é um gás eletrizado. Ele ocorre quando elevamos a temperatura da matéria acima de um determinado valor crítico. No estado de plasma, a temperatura é tão elevada que o núcleo do átomo não consegue manter os elétrons

unidos. Era justamente esse plasma de partículas que existiu pouquíssimo tempo depois do Big Bang, pois, quando aumentamos a temperatura acima de um determinado valor crítico, ocorre a decomposição dos átomos.

Ainda no primeiro milionésimo de segundo após o Big Bang, houve na natureza o predomínio das partículas sobre as antipartículas. As partículas e as antipartículas aniquilaram-se mutuamente, mas sobrou um ligeiro excesso das partículas sobre as antipartículas. Essa assimetria entre matéria e antimatéria hoje existente e o predomínio universal da matéria é uma das razões de nossa existência. Isso ocorre, porque, se porventura houvesse um equilíbrio entre essas partículas, a resultante seria nossa destruição por completo, pois quando uma partícula colide com a respectiva antipartícula, ambas se destroem em uma explosão. O que sobra delas são raios gama, a forma de radiação eletromagnética mais energética que existe.Somos formados, portanto, essencialmente por partículas, muito embora exista para cada partícula na natureza a respectiva antipartícula, hoje só detectável em experimentos científicos realizados nos aceleradores de partículas, que procuram simular o que ocorrera no Big Bang. As antipartículas rapidamente desaparecem, pois a antimatéria é efêmera e muito rara na natureza.

Veja que o aumento da temperatura e da pressão poderá ocasionar a transmutação de um elemento químico em outro. O Sol é um exemplo vivo disso. Nele, dois núcleos pequenos se juntam para formar um núcleo maior, liberando energia em forma de luz e calor. Em seu interior, por causa das altíssimas temperaturas e pressões, o hidrogênio funde-se no hélio. Na verdade, o núcleo de um átomo de hidrogênio se funde com o núcleo de outro átomo de hidrogênio, formando-se assim um átomo de hélio.

Você pode pensar como isso é possível, se o hidrogênio possui apenas um próton, cuja carga é positiva. Ora, a união com o outro átomo de hidrogênio, cuja carga também é positiva, provocaria a repulsão de cargas elétricas iguais. A explicação encontra-se no fato de que as altas temperaturas e pressões no interior do Sol causam a aproximação dos dois núcleos atômicos abaixo de uma determinada distância crítica suficiente para fazer atuar a força nuclear forte, que mantém os prótons unidos, permitindo assim a transformação do hidrogênio em hélio.[10]

Isso não ocorre de uma vez, porque senão todos os átomos de hidrogênio se transformariam em hélio imediatamente e, por conseguinte, a vida útil do Sol seria bem menor. Com efeito, no centro do Sol, onde ocorre essa transformação, estima-se que os prótons estejam em movimento contínuo, chocando-se uns contra os outros, em velocidades que variam de 500 a 10.000 Km/s, e, que, somente uma ínfima fração deles acaba por se fundir. É mais ou menos como ocorre na competição entre os espermatozoides na corrida para fecundar o óvulo, em que somente um consegue se sagrar o vencedor.

A formação das galáxias e das estrelas.

É famosa a história de um diálogo travado entre o todo poderoso Napoleão Bonaparte (1769-1821) e Pierre-Simon de Laplace (1749-1827). Quando o primeiro perguntou a Laplace onde estaria Deus em sua obra, este lhe teria respondido não contar com aquela hipótese! Mas não pelo atrevimento da resposta a Napoleão, Laplace é mais famoso por seu livro “Exposição do Sistema do Mundo”, publicado em 1796.

Laplace concluiu que, pelo fato (verdadeiro, frise-se) de os planetas estarem alinhados mais ou menos no mesmo plano galáctico (à exceção de Mercúrio), de girarem em torno do Sol na mesma direção e no mesmo sentido em que o Sol gira em torno de seu próprio eixo, de também girarem em torno de si mesmos no mesmo sentido e no mesmo sentido do Sol (à exceção de Vênus e Urano, que giram em torno de seus próprios eixos em sentidos contrários), é provável que tenham tido uma origem comum. Essa origem teria sido uma nuvem de gás que colapsara para dar surgimento ao Sistema Solar.

Modernamente se diz que a formação das galáxias ocorreu a partir de flutuações de densidade presentes na época do desacoplamento. A história é mais ou menos assim: após decorrer aproximadamente um bilhão de anos do Big Bang, surgem as primeiras galáxias, as estrelas e os planetas, a partir de aglomerados dos elementos primordiais unidos pela gravitação.[11] A existência, logo após o Big Bang, de pequenas flutuações de densidade (inomogeneidades) no gás primordial que formava o Universo, associada à ideia da gravitação, é a explicação para o surgimento das galáxias.

Os cosmólogos afirmam que essas pequenas flutuações de densidade fizeram que se atraísse cada vez mais matéria ao redor da nuvem de instabilidade gravitacional que se formara, aumentando-se a densidade dessa nuvem. A gravidade foi a força responsável pelo crescimento das pequenas inomogeneidades, também denominadas flutuações quânticas, presentes no Universo primordial desde a época da inflação.

De fato, a temperatura observada na radiação cósmica de fundo é praticamente a mesma, porém existem minúsculas diferenças. Essas pequenas inomogeneidades foram responsáveis pela formação da estrutura em larga escala no Universo, ou seja, pela formação das galáxias. Quando essas flutuações de densidade conseguiram agregar mais e mais matéria para seu entorno, em um processo chamado de acreção, por causa do efeito da gravidade, a partir de um determinado ponto crítico de ajuntamento de matéria e gás, elas entraram em colapso, girando sobre o próprio eixo, dando origem às galáxias.

Nossa galáxia, portanto, surgiu a partir da fusão de nebulosas, grandes concentrações de gás e poeira, sobretudo de hidrogênio. Formaram-se, no interior dessas nebulosas, regiões de grandes concentrações de matéria que, por causa do efeito da gravidade, ficaram cada vez mais densas.

Essas nuvens de gases e poeira gigantescas em rotação acabaram por traduzir-se na formação de grandes estrelas primordiais, que iniciaram o processo de fusão do hidrogênio em hélio. Essas estrelas gigantes, com o decorrer do tempo, terminaram por explodir, espalhando elementos químicos mais pesados pelo espaço. Foi uma dessas nebulosas que se contraiu pelo efeito da própria gravidade, provavelmente por causa da explosão de estrelas gigantes à sua volta, que deu origem ao Sistema Solar, há mais ou menos 4,6 bilhões de anos.

O surgimento do Sol, portanto, há 4,6 bilhões de anos, deve-se à formação de uma nuvem gigantesca de gás e poeira que se concentrou e começou a girar e a girar, sendo cada vez mais compactada em decorrência da atração gravitacional que se formou pela concentração da matéria. Ao se contrair, a nuvem de gás e poeira fria aumentou sua densidade, aqueceu o gás no interior da nuvem, dando origem a um embrião estelar chamado de protoestrela. Foi assim também que surgiram as demais estrelas. Uma estrela se forma, portanto, pelo colapso de uma nuvem de gás interestelar, algumas vezes causado pela colisão com outra nuvem ou, mais provavelmente, pela explosão de uma estrela gigante ao derredor.

As primeiras estrelas não continham elementos pesados. Eram compostas basicamente por hidrogênio (cerca de 90%) e hélio (cerca de 10%). Esses dados são confirmados através de análises

espectroscópicas e isso é um forte argumento a favor do modelo do Big Bang. O ciclo de vida e morte estelares é que foi reciclando e lançando no Universo os elementos mais pesados.

Os elementos mais pesados lançados no meio interestelar, principalmente através da explosão das estrelas (supernovas), transformaram-se novamente em nuvens de gás e poeira que, quando entraram em colapso, formaram a geração de estrelas seguintes, já ricas em elementos mais pesados.

Nas primitivas galáxias, eram muito mais comuns ocorrerem as explosões de supernovas e, no caso do Sistema Solar, é possível que o colapso de nuvens interestelares tenha decorrido justamente a partir da onda de choque formada por explosões desse tipo próximas. De seu colapso, teria surgido inicialmente um núcleo mais denso, que teria originado mais tarde o Sol. O restante do material que sobrou teria formado os planetas do Sistema Solar e seus demais corpos celestes, como os asteroides.

O surgimento da Terra

A formação de planetas como a Terra compreende a ideia da agregação, pela gravidade, de grãos minúsculos de poeira que, com o passar do tempo, acabaram por criar sólidos blocos de rocha. Impactos com outros corpos celestes ajudaram a aumentar a massa primordial do planeta. A Terra se formou a partir da agregação de matéria unida pela gravidade. Pedaços de rocha e metal oriundos das diversas colisões que haviam no primitivo Sistema Solar se uniram pela gravidade, aumentando progressivamente a massa da Terra até que ela, ao longo de milhares de anos, pôde atingir sua forma atual.

Estudando o Sistema Solar, descobre-se que, embora os planetas sejam compostos basicamente pelos mesmos elementos químicos que existem na natureza, suas combinações, suas proporções e seus estados são muito diferentes. Enquanto a Terra, por exemplo, é basicamente uma imensa pedra redonda vagando pelo espaço (o maior dos quatro planetas rochosos), Júpiter e Saturno, embora muito maiores do que o nosso planeta (Júpiter possui uma massa 318 vezes maior do que a da Terra e Saturno 95), são compostos basicamente de gás.

A Terra não se formou juntamente com a primeira geração de estrelas. Isso porque sabemos que ela é composta de muitos elementos pesados que foram espalhados pelo espaço após a explosão de supernovas. Nosso planeta, assim como os demais do Sistema Solar, formou-se há 4,6 bilhões de anos, após a junção e o adensamento de matéria a partir de um único ponto de poeira e gás estelar. Aliás, todos os astros que compõem o Sistema Solar surgiram sucessivamente mais ou menos na mesma época, logo após o Sol, formados do material que sobrou da formação do Sol.

O cálculo da idade da Terra deve-se principalmente a trabalhos de geólogos, que analisam a idade das rochas. O método empregado é o da análise pelo decaimento radioativo. Consiste mais ou menos no seguinte: radioatividade é a propriedade que os núcleos atômicos instáveis possuem de emitir partículas e radiações eletromagnéticas. Ao se decomporem, transformam-se em outros elementos. Isso ocorre porque os átomos instáveis (a minoria) estão sempre buscando se tornar estáveis (a maioria). Todos os elementos químicos com números atômicos maiores que 82 (chumbo) são radioativos. Quanto maior o número atômico, em geral maior o tamanho (raio) do núcleo do átomo. Assim, nos casos de núcleos atômicos pequenos (elementos menores da tabela periódica), em geral a força nuclear forte consegue sobrepujar a força elétrica repulsiva, mantendo assim o núcleo coeso, e, portanto, o átomo estável. Nos elementos em que os núcleos atômicos são grandes (em geral a partir do elemento químico 82 – chumbo), a força elétrica consegue ser mais forte do que a força nuclear forte e acaba por produzir o afastamento dos prótons que, distendido ao extremo (o núcleo do átomo) acaba por se dividir. Esse fenômeno nuclear natural também é conhecido pelo nome de reação de desintegração radioativa ou, simplesmente, decaimento.

O tempo de desintegração do núcleo de um átomo varia conforme a espécie dele. Urânio, polônio, rádio e carbono possuem diferentes tempos de desintegração radioativa ou tempos de decaimento. Conhecer a rapidez com que ocorre o decaimento é de fundamental importância para se descobrir a idade de uma rocha ou de um fóssil. A forma mais comum de estimar o tempo em que ocorre o decaimento é através do “tempo de meia-vida”, que é o tempo necessário para desintegrar a metade dos átomos radioativos existentes em uma dada amostra. A partir desse método, os cientistas calculam o tempo de meia-vida dos átomos que compõem a rocha ou o fóssil analisado e, comparando os átomos perdidos pelo material, conseguem estimar sua idade. O tempo de meia-vida do urânio 238 é de 4.500.000.000 anos, do urânio 235 é de 713.000.000 anos, do tório 232 é de 13.900.000.000 anos, do plutônio 241 é de 2.400.000 anos e do Carbono 14 é de 5.715 anos.

Utilizando-se desse método, de acordo com os cálculos mais modernos, as rochas mais antigas de nosso planeta foram datadas em quase 4 bilhões de anos. Por outro lado, meteoritos caídos na Terra e pedaços de rochas colhidos na Lua e submetidos à análise, indicam uma data próxima dos 4,6 bilhões de

anos para ambos, portanto, essa deve ser a idade aproximada da formação do Sistema Solar e da Terra.

A Terra, no período que marca o início da existência de nosso planeta, foi bastante instável e conturbada, muito diferente da dos dias de hoje, em que predomina uma boa dose de estabilidade em termos de fenômenos climáticos e meteorológicos. Basta dizer, por exemplo, que a temperatura média da Terra quase não tem variado em milhares de anos. Aliás, isso é um dos requisitos necessários para a formação da vida. Mas há muito tempo isso foi bastante diferente.

Acredita-se que, no início dos tempos, nosso planeta era bastante quente, formando uma espécie de massa líquida de rochas e metais feito larvas, com constantes erupções vulcânicas, rochas incandescentes e chuvas de meteoros e cometas, um deles, inclusive, um meteoro gigante ou um protoplaneta, mais ou menos do tamanho de Marte, teria arrancado um pedaço da Terra, dando origem à Lua há cerca de 4,5 bilhões de anos (essa é a teoria mais aceita para a origem da Lua).

No início de sua formação, o Sistema Solar era um local muito violento. As colisões com planetas em formação (protoplanetas), asteroides e meteoros eram muito comuns. As inúmeras crateras que existem na Lua, nas outras luas que circundam os outros planetas e nos próprios planetas, como em Mercúrio, por exemplo, compõem a impressão digital deixada por esses impactos. Essas marcas de colisões passadas existem e se encontram preservadas até hoje devido à falta de atmosfera (para derreter os meteoritos que caíram) e à ausência de processos erosivos, como os ventos e as chuvas.

Aqui na Terra, embora muito comuns essas colisões no início de sua formação, o tempo encarregou-se de apagar os vestígios, sobretudo por causa das chuvas e dos ventos, restando apenas os dos impactos maiores e mais recentes, como os que existem na cratera de Meteoro, no Estado do Arizona, Estados Unidos, formada há cerca de 50.000 anos. Além do meteoro que extinguiu os dinossauros e 70% das espécies animais há 65 milhões de anos, calcula-se que houve antes disso pelo menos mais quatro outros grandes impactos, há 440, 360, 250 e 215 milhões de anos.

A partir de seu resfriamento, ocorreu a solidificação do material derretido, surgindo a crosta terrestre e a Terra foi formando a atmosfera atual, através da emissão de gases oriundos das rochas, da atividade vulcânica e da produção de oxigênio pelas bactérias, contudo ela nem sempre foi como é no presente. Hoje ela é composta de 78% de nitrogênio e de 21% de oxigênio, além de outros gases em menor quantidade, mas, há aproximadamente 3,5 bilhões de anos, não havia oxigênio na atmosfera terrestre. Naquela época, ela era formada principalmente por nitrogênio, hidrogênio, hélio, dióxido de carbono e metano.

---

1 Há outros modelos que explicam a origem do Universo, como o modelo do Universo eterno, do multiverso e do Universo cíclico, todavia, eles não são predominantes. Para o leitor interessado, pode-se consultar três livros da bibliografia (*Do Big Bang ao Universo eterno*, de Mário Novello, *Endless Universe*, de Paul Steinhardt e Neil Turok e *The hidden reality*, de Brian Greene).

2 A Teoria do Estado Estacionário apregoava um Universo com uma idade infinita, sem começo nem fim, em que a matéria era continuamente criada – para seus defensores, o Universo é o que sempre foi, sem início nem fim. Muito tempo antes de Hoyle, Aristóteles também acreditava em um Universo eterno, sem começo nem fim.

3 *Conceptions of cosmos*, p. 177.

4 *O Cosmo de Einstein*, p. 112.

5 *God and the astronomers*, p. 107.

6 Mais à frente explicaremos em que consiste o deslocamento para o vermelho das galáxias.

7 Mais à frente explicaremos em que consiste examinar o espectro de uma estrela.

8 Robert Herman trabalhava com Ralph Alpher.

9 Hoje, a temperatura do espaço profundo é da ordem de -270,4º C, ou seja, 2,6 graus acima do zero absoluto. O zero absoluto é o zero grau kelvin, ou -273 graus celsius, representando a menor temperatura atingível na natureza, quando todo o calor foi removido de um objeto e suas partículas subatômicas estão praticamente paradas.

10 Na verdade, a fusão do hidrogênio em hélio no interior do Sol passa por vários estágios cuja explicação ultrapassa o objetivo deste livro.

11 Estima-se que a primeira geração de estrelas, chamadas de estrelas primordiais, ou protoestrelas, tenha surgido a menos de meio bilhão de anos do Big Bang.

Capítulo VII

Em busca de uma teoria final de tudo

É UM SONHO DA HUMANIDADE a unificação das leis que regem o Universo. Sabe-se hoje que o Universo rege-se por quatro leis fundamentais (as leis da gravidade, do eletromagnetismo, da força nuclear forte e da força nuclear fraca). A matemática é a linguagem através da qual o Universo se comunica conosco e nos apresenta às suas leis. Ao longo do tempo, fomos descobrindo essas leis, inscritas hoje definitivamente em códigos matemáticos, um conjunto de equações, às vezes muito complicadas.

As primeiras leis a serem descobertas e postas em uma linguagem matemática, através de uma obra imortal, foram as leis da gravidade. Em 1687, o livro *Principia*, de Newton, ligou as leis físicas da Terra às leis celestes, e estabeleceu as equações matemáticas das leis da gravidade.

Posteriormente, Michael Faraday descobriu experimentalmente as relações entre a eletricidade e o magnetismo, na medida em que observou que um campo magnético oscilante pode criar um campo elétrico e vice-versa. Essa descoberta foi fundamental para a Revolução Industrial, conquanto possibilitou a criação e o desenvolvimento de geradores e motores. Após Faraday, a genialidade do físico escocês James Clerk Maxwell estabeleceu em quatro equações fundamentais, em 1864, a união desses dois fenômenos da natureza. Estavam assim descobertas e unificadas as leis do eletromagnetismo.

Apesar da genialidade einsteiniana e de sua contribuição inestimável para a humanidade, ele não conseguiu unificar as leis do eletromagnetismo com as leis da gravidade. Seus últimos trinta anos "desperdiçados" nessa tentativa foram em vão. O físico Michio Kaku[1] sintetiza o papel de Einstein da seguinte forma: "Todo o conhecimento físico no nível fundamental está contido em dois pilares da física: a relatividade geral e a teoria quântica. Einstein foi o fundador da primeira, o padrinho da segunda e abriu caminho para a possível unificação das duas".

Atribui-se o fracasso de Einstein ao fato de, à época em que trabalhava, ainda não terem sido descobertas as forças nucleares forte e fraca e, principalmente, pelo seu ceticismo em relação aos postulados da mecânica quântica, brincando de que "Deus não joga dados". Apesar de não aceitá-la, por ela nutria grande respeito. O simples fato de, conforme ele próprio certa feita declarara, haver pensado cem vezes mais sobre os problemas quânticos do que sobre a Teoria da Relatividade Geral, bem como o fato de ter indicado vários de seus adeptos ao Prêmio Nobel, como Schrödinger e Heisenberg, já demonstra o respeito que tinha pela teoria. Ele sabia que os resultados dela eram consistentes, mas simplesmente não podia confiar em um mundo de probabilidades, não aceitava a dualidade de partículas e ondas e não acreditava fosse ela definitiva e completa.

Assim, paralelamente ao nascimento da Relatividade, nascia a mecânica quântica, e os físicos que conseguiram dominá-la, desvendaram suas inacreditáveis leis e, de bandeja, fizeram-nos conhecer as equações das leis que comandam as forças nucleares fraca e forte.

Físicos contemporâneos, Sheldon Glashow, Gerard t'Hooft, Abdus Salam e Steven Weinberg, conseguiram unificar as leis que regem as forças eletro-magnéticas com as leis que regem a força nuclear fraca, e nos aproximamos de unificá-las à força forte. Weinberg[2] traça-nos um quadro disso tudo: "O objetivo principal da física é entender a Natureza de forma unificada. Os maiores avanços do passado nos aproximaram cada vez mais desse objetivo. Newton unificou as mecânicas terrestre e celeste no século XVII, Maxwell fez o mesmo com as teorias da eletricidade e do magnetismo no século XIX e

Albert Einstein reuniu a geometria do espaço-tempo e a teoria da gravitação em 1905 e 1916. Einstein dedicou os últimos 30 anos de sua vida à busca de uma 'teoria de campo unificado', que reuniria a relatividade geral (sua teoria do espaço-tempo e da gravitação) e o eletromagnetismo de Maxwell. Temos progredido, só que em sentido diferente. Nossa atual teoria das partículas e forças elementares, conhecida como Modelo Padrão da física das partículas, conseguiu uma unificação do eletromagnetismo com as interações fracas, ou seja, as forças responsáveis pela conversão de nêutrons em prótons nos processos radioativos e no interior das estrelas. O Modelo Padrão também dá uma descrição à parte, mas parecida, das interações fortes, que mantêm os quarks juntos dentro dos prótons e nêutrons e seguram tais partículas no núcleo atômico. Temos algumas ideias sobre como unificar as interações fortes com as fracas e eletromagnéticas (a chamada Grande Unificação), mas isso só pode ocorrer se a gravidade for incluída na equação, o que traz grandes dificuldades. Suspeitamos que as diferenças aparentes entre essas forças possam ter surgido logo depois do Big Bang mas não temos como acompanhar os detalhes da história cósmica nessa época tão antiga sem uma teoria melhor da gravitação e de outras forças. Existe uma chance de que a unificação esteja consumada em 2050. Mas será que conseguiremos?".

Resta-nos, portanto, a tentativa da unificação da gravidade às demais forças da natureza, desafio a que a Teoria das Cordas se propõe. Com relação à Teoria do Big Bang, a ideia é de que essas forças eram apenas uma no início dos tempos e, aos poucos, elas foram se separando. Falta-nos, porém, a última parte desse quebra-cabeças, juntar as equações da gravidade às das forças eletro-magnético-nucleares.

Sendo realizado esse sonho antigo dos cientistas, teremos encontrado uma teoria final para a física que possa explicar tudo o que existe em termos de matéria, energia e seus movimentos.

A Teoria das Supercordas (ou das Cordas) é um refinado instrumento teórico que se propõe a ser o elo entre a Relatividade Geral e a mecânica quântica, ou seja, entre as duas teorias que explicam o mundo do muito grande (e muito pesado) e do muito pequeno (e muito leve). É aquilo que de mais próximo temos, atualmente, para desempenhar o papel da Teoria Unificada de Tudo.

De acordo com seus postulados, se pudéssemos examinar, microscopicamente, o interior das partículas fundamentais da matéria, encontraríamos não um ponto, mas uma corda em forma de um laço. Assim, a partícula elétron ou o quark, por exemplo, vista microscopicamente, teria a forma de um laço de uma corda, e não de um ponto. As partículas interagiriam entre si por meio de diversos padrões de vibrações desses laços. Assim, tanto as partículas fundamentais da matéria, quanto as partículas de força, constituir-se-iam de cordas em formato de laços abertos ou fechados, que vibrariam em diversos padrões.

As equações que tentavam conciliar a Relatividade Geral com a mecânica quântica vinham resultando no infinito matemático, o que representava para os físicos que algo estava errado, ou, em outras palavras, que essa resposta – o infinito em matemática – expressava que as equações do mundo teórico não estavam representando a realidade física dos fenômenos do mundo real.

Pense-se no exemplo da força gravitacional: se ela cai com o quadrado da distância, se a distância entre os objetos for zero, a força gravitacional seria infinita, o que se apresenta irreal. Matematicamente, ou, "idealmente", está perfeita a equação, mas, no plano real, apresenta-se sem sentido. De fato, respostas que conduzam ao infinito ou ao zero podem representar, na prática, a realidade de um objeto maior do que o próprio Universo (infinito) ou um objeto que não exista (zero).

Pois bem, os defensores da Teoria das Cordas asseguram que esse modelo consegue promover a unificação da Relatividade Geral e da mecânica quântica. Esse grande triunfo, deve-se, grosso modo, a esta sacada genial, a troca de um "ponto" por uma "corda".

O calcanhar de aquiles da Teoria das Cordas, porém, consiste no fato de que ela se tem mostrado de impossível comprovação empírica. Isto porque nossa tecnologia atual não consegue enxergar as dimensões e as formas ultramicroscópicas em que se dão as interações entre as cordas, de sorte que ela continua sendo um belo e arrojado espaço de discussão dos físico-matemáticos, aguardando pela

invenção de um instrumento que possa detectá-las.

O notável matemático francês Henri Poincaré afirmou que o papel dos físico-matemáticos é elaborar perguntas que somente a experiência pode responder. Einstein, por seu lado, lembrou que “apenas a experiência pode decidir sobre a verdade” (em que pese toda a sua física ter sido desenvolvida por experiências imaginárias que se passavam dentro de sua cabeça, mas que depois, porém, foram confirmadas por experimentos). A esperança reside no fato de que as partículas subatômicas (quarks, elétrons, glúons, bósons, neutrinos) foram primeiro descobertas como hipóteses matemáticas, para só depois se revelarem como fazendo parte de nossa realidade.

Seríamos ingênuos em supor que a física acabou na Teoria das Cordas, assim como também seríamos se afirmássemos que as cordas são a partícula indivisível do Universo. Permanece, ainda, a Teoria das Cordas, como uma construção matemática que desafia conceitos e leis da física, cujo maior esforço, nos dias que correm, é conseguir provar que ela representa a realidade dos fenômenos da natureza. Se alcançar este objetivo, terá encontrado seu “santo graal”.

As pesquisas e estudos mais modernos da física compreendem a tentativa da confirmação experimental de duas partículas, o gráviton e a partícula de Higgs; da matéria escura, detectável apenas indiretamente através de sua influência gravitacional sobre a matéria comum, pois interage com a gravidade, mas não interage com a luz, e, é responsável pelas órbitas de alguns astros, inexplicáveis pela quantidade de matéria visível ao seu redor, e da energia escura (o nome moderno para a Constante Cosmológica einsteniana), responsável pela aceleração na taxa de expansão do Universo. Antigamente se pensava que a expansão do Universo devia-se unicamente à energia repulsiva gerada a partir do Big Bang. Nos últimos tempos, contudo, mais precisamente a partir de 1998, com a descoberta de uma verdadeira “inflação” na taxa de aceleração da expansão, passou-se a atribuir esse efeito a uma forma misteriosa de energia, a energia escura.

A própria Teoria das Cordas está em constante evolução, como a que se atribui a Edward Witten, originariamente graduado em história e hoje um físico-matemático de escol. Em 1995, ele fundiu os cinco tipos diferentes de Teoria das Cordas (Tipo I, Tipo IIA, Tipo IIB, Heterótica-O e Heterótica-E) em uma única teoria, denominada Teoria-M, provando serem elas apenas cinco maneiras diferentes de analisar matematicamente a mesma teoria. A dedução consequente, de acordo com os postulados da Teoria-M, é de que o Universo possuiria onze dimensões (dez espaciais e uma temporal), embora só consigamos enxergar três.

E quanto mais perto chegarmos à ponta da ciência, mais aumenta a confusão, como, só para registrar, a Teoria Matriz e a Teoria da Gravidade Quântica dos Laços. Ocorre que, chegar muito perto dessa ponta, é bastante arriscado, porque muitas dessas teorias estão em constante modificação e algumas até se provarão, no futuro, inverossímeis e serão abandonadas. E para não cairmos no risco e no erro de supor a existência do éter, de Aristóteles, em que a comunidade dos cientistas acreditou mais tempo do que desacreditou, é bom saltarmos por aqui. Quem sabe se nossos ancestrais não estavam certos! É só fazermos alguns pequenos ajustes e substituirmos o éter pelos campos de Higgs!

---

1 *O Cosmo de Einstein*, p. 198.
2 *Scientific American Brasil*, nº 26, p. 7.

Capítulo VIII

Somos especiais?

EM UM UNIVERSO DE BILHÕES de anos-luz de extensão, com bilhões de estrelas no firmamento, bilhões de galáxias, com um pequeno planeta como o nosso, fazendo parte de uma galáxia comum como a nossa, é no mínimo muito estranho e bastante pretensioso pensarmos que tudo isso foi criado para nós e por causa de nós. Some-se a isso o estranho fato de se haver passado tanto tempo desde a criação do Universo para, finalmente, nós, humanos, aparecermos.

Em linguagem científica nós acharmos que o Universo se preocupa conosco é uma manifestação do princípio antrópico, enquanto que o fato do Universo não nos colocar no centro de suas atenções representa o princípio copernicano.

Na evolução do pensamento cosmológico, partimos dos deuses para o homem como a medida universal. Aprendemos, porém, com Darwin, que não éramos "a espécie". Copérnico, por sua vez, retirou a Terra do centro do mundo, mas deixou o Sol em seu lugar. Coube à ciência moderna, entretanto, deixar o mundo sem centro algum. Somos, apenas, uma das "espécies", em um dos "lugares" do Universo. Não há nada de especial nisso.

Mas, paradoxalmente, há certa evidência de que, de alguma forma, o Universo e, especialmente, o planeta Terra, foi desenhado e preparado para nossa existência como humanos. Assim, se você pensar, por exemplo, em termos macros, constatará que, à vista da imensidão do Universo, vivemos enclausurados em um minúsculo grão de areia (o planeta Terra), protegidos por uma bolha (a camada atmosférica) a qual, sem ela, não poderíamos existir. Se vivêssemos em qualquer outro planeta do Sistema Solar, morreríamos rapidamente, quer seja devido à temperatura (quente ou fria demais), ao gás (presença de gases tóxicos ao nosso organismo ou falta do gás oxigênio), à gravidade (pelo excesso ou pela falta) ou à pressão (grande ou pequena demais para os padrões humanos).

Por outro lado, é remota a chance de encontrarmos a transformação de átomos inanimados em átomos animados, sobretudo átomos animados inteligentes, como ocorreu conosco. É provável que isso tenha acontecido apenas uma única vez em toda a história cósmica. Se isso for mesmo verdade, não há dúvidas de que somos especiais.

Mesmo em nossos vizinhos planetários mais próximos (Vênus e Marte), que, além de vizinhos, são os planetas mais parecidos conosco em termos de estrutura e tamanho, a vida humana seria impossível.

Em Vênus, teríamos que achar uma maneira de não sermos derretidos, já que as temperaturas lá giram em torno de 460 graus centígrados. Além, é claro, de termos de achar uma maneira de respirar, pois sua atmosfera é composta de 96% de dióxido de carbono, e de não sermos esmagados pelo peso de suas cerca de 90 atmosferas terrestres (em Vênus, um tanque de guerra seria derretido pelo calor e esmagado pela pressão).

Já em Marte, embora um planeta bem mais habitável, entre outras dificuldades, teríamos de achar oxigênio suficiente para podermos respirar (em sua atmosfera há apenas 0.13% de oxigênio) ou água para beber (não há água líquida em Marte) e também ajustarmos nossos corpos a uma pressão atmosférica 150 vezes menor do que a nossa. Também teríamos de achar um meio de se proteger do frio congelante (a temperatura média em Marte é 50 graus menor do que a nossa).

Nossa espécie cresceu e evoluiu há alguns milhares de anos em um lugar com características bastante singulares no Universo e que não se repetem em nenhum outro local. Vivemos, aqui na Terra, no fundo de um oceano de ar e, se, de alguma forma, a gravidade de nosso planeta fosse "desligada", as moléculas da atmosfera se dispersariam e desapareceriam da vizinhança da Terra. Assim, não teríamos o necessário

oxigênio para respirar, bem como as temperaturas na Terra variariam enormemente entre o dia e a noite, como ocorre na Lua e em Mercúrio. Tivesse o planeta Terra se posicionado um pouco mais perto do Sol e nossos rios e oceanos seriam vaporizados. Um pouco mais longe e eles teriam sido congelados.

A atmosfera e a gravidade terrestres permitem que o oxigênio e o gás carbônico necessários aos processos vitais não escapem para o espaço interestelar e também propiciam a que o efeito estufa mantenha a temperatura alta o suficiente para permitir o desenvolvimento adequado da vida.

Um pouco do efeito estufa, portanto, é vital para nossa espécie, pois senão as temperaturas terrenas seriam congelantes. O contrário também é verdadeiro, pois a elevação do efeito estufa poderá provocar um aumento insalubre das temperaturas aqui na Terra.

A camada de ozônio (O^3), por outro lado, presente também na atmosfera, é imprescindível para que os raios solares nocivos à saúde humana, os raios ultravioleta, sejam devidamente filtrados, impedindo de nos atingir diretamente.

Outro fator que nos protege dos efeitos da radiação solar, desta feita dos raios cósmicos, é o campo magnético da Terra (calcula-se que o Sol libera ao espaço cerca de 200 milhões de toneladas de partículas eletricamente carregadas por segundo, formando o vento solar). As partículas eletricamente carregadas provenientes do Sol são maléficas à saúde, mas graças a esse campo magnético, elas são desviadas em direção aos polos. Além de nos proteger contra o vento solar, o campo magnético da Terra nos brinda com os fenômenos das auroras boreal e austral, produzidas pela colisão dos raios cósmicos contra as moléculas dos gases atmosféricos.

E nós nos acostumamos com essas propriedades físicas e químicas de nosso planeta, de modo que, se tivéssemos de nos mudar de uma hora para outra, com certeza morreríamos rapidamente de frio (congelados), de calor (derretidos), com falta de oxigênio (sufocados), ou envenenados por outro ar (hidrogênio, nitrogênio, hélio, dióxido de carbono, metano, ácido sulfúrico, enxofre), poderíamos explodir ou implodir por causa da diferença de pressão, ou mesmo termos sérios problemas físicos e de adaptação pelo excesso ou falta da gravidade.

Muitas coisas combinadas no momento certo foram necessárias para que nós tivéssemos existido. Nas grandes estruturas, um planeta que possua uma atmosfera é imprescindível para a vida, pois a atmosfera protege-nos dos ataques dos meteoros, regula e estabiliza a temperatura do planeta, impede que os gases escapem para o espaço, e, claro, se composta de boa parte de oxigênio, permite a vida (alguns planetas não possuem massa suficiente para atingir o nível de força gravitacional exigido para sustentar sua atmosfera). Nas pequenas estruturas, a ausência de apenas um elemento químico da tabela periódica poderia causar transformações profundas na natureza e, em certos casos, até mesmo inviabilizar a vida. Por exemplo, a ausência do elemento químico nº 12 (magnésio) implicaria a inexistência da molécula clorofila e sem ela não existiria vida na Terra.

Também, se detalhes fossem modificados no mundo submicroscópico, como, se a massa do próton fosse um pouquinho maior do que a do nêutron (na verdade, na natureza o que ocorre é justamente o contrário), não estaríamos aqui para testemunhar tudo isso. Bastaria uma pequeníssima modificação nas massas ou nas cargas de prótons, nêutrons e elétrons e bam! Adeus, seres humanos!

Assim, nesse sentido, parece que o Universo, especialmente o planeta Terra, foi feito sob medida para nós, ou, nós é que fomos feitos sob medida para ele!

Não sabemos o porquê da existência do Universo, à frente da possibilidade (real) de seu não existir. Por que, na natureza, ocorreu esse fenômeno, o vir a ser do Universo, ao invés de ter ocorrido o nada? Da mesma forma, não sabemos se somos especiais no Universo. Gostaria que fôssemos, mas lembremos que ferir o próprio bom senso é uma peça que a natureza está constantemente a nos pregar. Quando olhamos para o próprio corpo, temos a sensação de que está tudo parado. Nada mais falso, entretanto. Dentro de cada átomo do corpo humano, os elétrons estão em constante movimento, pulsando em

velocidades alucinantes de um lado para o outro em todas as direções. Quanto maior a temperatura, maiores são seus movimentos. A própria água está em constante movimento, do céu para a terra e da terra para o céu, formando nuvens. Ao contrário dos antigos, que pensavam que as estrelas eram eternas e imutáveis, nada está parado no Universo. Nós também estamos nos movendo, soltos pelo espaço sideral, juntamente com o planeta Terra inteiro, a uma velocidade de 30 Km/s. O Sistema Solar move-se em torno de um enorme buraco negro, mais pesado do que 2.600.000 sóis juntos, no centro da Via Láctea, com uma velocidade aproximada de 250 Km/s. Toda a nossa galáxia também está-se movendo, a aproximadamente 100 Km/s. Todas as demais galáxias, aglomerados de galáxias e superaglomerados, também estão se movendo da mesma forma, com velocidades semelhantes. Quanto mais distantes da nossa, mais rápidas se afastam da gente, esticando cada vez mais o tecido do espaço e do tempo, por causa de uma forma obscura de energia.

Calcula-se que 21% do Universo é formado por uma matéria que simplesmente não conhecemos. Também se diz que 74% de sua composição é de uma forma de energia desconhecida, a energia escura. Sobram-nos apenas cinco por cento. Deste ponto de vista, podemos dizer que não somos nada especiais, porque somos formados por apenas cinco por cento da verdadeira estrutura da matéria e da energia que compõem o Universo. Por outro lado, podemos dizer que sim, somos muito especiais, porque de um Universo composto de cem por cento, temos o privilégio de pertencer aos cinco por cento que verdadeiramente interessam.

Bibliografia

LIVROS

Abdalla, Maria Cristina Batoni. Bohr: o arquiteto do átomo. São Paulo: Odysseus Editora, 2006.

_______. O discreto chame das partículas elementares. São Paulo: Unesp, 2006.

Adams, Fred e Laughlin, Greg. Uma biografia do Universo: do Big Bang à desintegração final. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2001.

Alpher, Ralph A. and Robert Herman. Genesis of the Big Bang. New York: Oxford University Press, 2001.

Aragão, Maria José. História da química. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.

Atkins, Peter. O reino periódico: uma jornada à terra dos elementos químicos. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.

_______. Galileo's Finger: the ten great ideas of science. New York: Oxford University Press, 2003.

_______. Four laws that drive the universe. New York: Oxford University Press, 2007.

Barrow, John D. A origem do universo. Rio de Janeiro: Rocco, 1995.

Bendick, Jeanne. Arquimedes: uma porta para a ciência. São Paulo: Odysseus Editora, 2006.

Braga, Marco [et al.]. Breve história da ciência moderna, vol. I, convergência de saberes. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2008.

Brennan, Richard. Gigantes da Física: uma história da física moderna através de oito biografias. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2003.

Chaisson, Eric and McMillan, Steve. Astronomy Today, vol. I, The Solar System, 6th ed., San Francisco: Pearson Addison-Wesley, 2008.

Chaisson, Eric and McMillan, Steve. Astronomy Today, vol. II, Stars and Galaxies, 6th ed., San Francisco: Pearson Addison-Wesley, 2008.

Chown, Marcus. The magic furnace: the search for the origins of atoms. New York: Oxford University Press, 2001.

Clark, Ronald W. Einstein: the life and times. New York: Harper Perennial, 2007.

Clegg, Brian. Before the Big Bang: the prehistory of the Universe. New York: St. Martin's Griffin, 2011.

Comins, Neil F. e Kaufmann III, William J. Descobrindo o Universo, 8ª ed., Porto Alegre, Bookman, 2010.

Couper, Heather e Henbest, Nigel. Big Bang. São Paulo: Moderna, 1997.

Cruz, Frederico Firmo de Souza. Faraday & Maxwell: luz sobre os campos. São Paulo: Odysseus Editora, 2005.

Damineli, Augusto. Hubble: a expansão do Universo. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

Davidson, Keay and Smoot, George. Wrinkles in time: witness to the birth of the universe. New York: Harper Perennial, 2007.

Dyson, Freeman. Mundos imaginados. São Paulo: Companhia das Letras, 1998.

_______. Infinito em todas as direções. São Paulo: Companhia das Letras, 2000.

Falk, Dan. O universo numa camiseta: à procura da teoria de tudo. São Paulo: Globo, 2005.

Feynman, Richard P. Física em 12 lições. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.

Filgueiras, Carlos A.L. Lavoisier: o estabelecimento da química moderna. São Paulo: Odysseus Editora, 2007.Gell-Mann, Murray. O quark e o jaguar: aventuras no simples e no complexo. Rio de Janeiro: Rocco, 1996.

Gleick, James. Isaac Newton. São Paulo: Companhia das Letras, 2004.

Gleiser, Marcelo. A dança do universo: dos mitos de criação ao Big Bang. São Paulo: Companhia das Letras, 1997.

_______. O fim da Terra e do Céu: o apocalipse na ciência e na religião. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

_______. Poeira das estrelas. São Paulo: Globo, 2006.

_______. Mundos invisíveis. São Paulo: Globo, 2008.

_______. Criação imperfeita. Rio de Janeiro: Record, 2010.

Goldsmith, Donald and Tyson, Neil deGrasse. Origins: fourteen billion years of cosmic evolution. New York: W.W. Norton & Company, 2005.

Greene, Brian. O universo elegante: supercordas, dimensões ocultas e a busca da teoria definitiva. São Paulo: Companhia das Letras, 2001.

_______. O tecido do cosmo: o espaço, o tempo e a textura da realidade. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

_______. The hidden reality: parallel universes and the deep laws of the cosmos. London: Allen Lane, 2011.

Gribbin, John. The Universe: a biography. London: Penguin Books, 2008.

Gribbin, John and Mary. From here to infinity. New York: Sterling Publishing Co., 2008.

Guth, Alan H. O universo inflacionário: um relato irresistível de uma das maiores ideias cosmológicas do século. Rio de Janeiro: Campus, 1997.

Harrison, Edward. Cosmology: the science of the universe. 2^{nd} ed, Cambridge: Cambridge University Press, 2000.

_______. Masks of the Universe: changing ideas on the nature of the cosmos. 2^{nd} ed, Cambridge: Cambridge University Press, 2003.

Hawking, Stephen. O universo numa casca de noz. São Paulo: Arx, 2002.

_______. Os gênios da ciência: sobre os ombros de gigantes. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

Hawking, Stephen e Mlodinow, Leonard. Uma nova história do tempo. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.

Hewitt, Paul G. Física conceitual. Porto Alegre: Bookman, 2002.

Horvath, J.E. O ABCD da Astronomia e Astrofísica. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

Isaacson, Walter. Einstein: sua vida, seu universo. São Paulo: Companhia das Letras, 2007.

Jastrow, Robert. God and the astronomers. 2^{nd} ed., New York: W.W. Norton & Company, 1992.

J.E.Horvath [et al.]. Cosmologia Física. São Paulo: Livraria da Física, 2007.

Kaku, Michio. O Cosmo de Einstein. São Paulo: Companhia das Letras, 2005.

_______. Mundos paralelos: uma jornada através da criação, das dimensões superiores e do futuro do cosmo. Rio de Janeiro: Rocco, 2007

Kragh, Helge. Cosmology and controversy: the historical development of two theories of the universe. Princeton: Princeton University Press, 1996.

_______. Conceptions of cosmos. From myths to the accelerating universe: a history of cosmology. New York: Oxford University Press, 2007.

Liddle, Andrew and Loveday, Jon. The Oxford companion to cosmology. New York: Oxford University Press, 2009.

Longair, Malcolm. As origens de nosso Universo. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 1994.

Maciel Júnior, Auterives. Pré-socráticos: a invenção da razão. São Paulo: Odysseus Editora, 2007.

MacLachlan, James. Galileu Galilei: o primeiro físico. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.
Mlodinow, Leonard. A janela de Euclides: a história da geometria: das linhas paralelas ao hiperespaço. São Paulo: Geração Editorial, 2005.

Morris, Richard. O que sabemos sobre o Universo: realidade e imaginação científica. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2001.

Mourão, Ronaldo Rogério de Freitas. O livro de ouro do Universo. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

_______. Kepler: a descoberta das leis do movimento planetário. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

North, John. Cosmos: an illustrated history of astronomy and cosmology. Chicago: The University of Chicago Press, 2008.

Novello, Mário. O que é cosmologia: a revolução do pensamento cosmológico. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2006.

_______. Do Big Bang ao Universo eterno. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2010.

Ohanian, Hans C. Os erros de Einstein: as falhas humanas de um gênio. São Paulo: Larousse do Brasil, 2009.

O'Shea, Donal. A solução de Poincaré: em busca da forma do Universo. Rio de Janeiro: Record, 2009.

Overbye, Dennis. Einstein apaixonado: um romance científico. São Paulo: Globo, 2002.

Pais, Abraham. Sutil é o Senhor: a ciência e a vida de Albert Einstein. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

Peebles, James [et al.]. Finding the Big Bang. New York: Cambridge University Press, 2009.

Pires, Antonio S.T. Evolução das ideias da física. São Paulo: Livraria da Física, 2008.

Potter, Christopher. You are here: a portable history of the Universe. New York: HarperCollins, 2009.

Primack, Joel R e Nancy Ellen Abrams. Panorama visto do centro do Universo. São Paulo: Companhia das Letras, 2008.

Ratcliffe, Martin. Cosmology and the evolution of the Universe. Santa Barbara: ABC-CLIO, LLC, 2009.

Ronan, Colin A. História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge, volume I: das origens à Grécia. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2001.

_______. História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge, volume II: Oriente, Roma e Idade Média. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2001.

_______. História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge, volume III: da Renascença à revolução científica. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2001.

_______. História ilustrada da ciência da Universidade de Cambridge, volume IV: a ciência nos séculos XIX e XX. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2001.

Rees, Martin. Before the beginning: our universe and others. New York: Basic books, 1998.

_______. Just six numbers: the deep forces that shape the Universe. New York: Basic books, 2000.

_______. Our Cosmic Habitat. Princeton: Princeton University Press, 2001.

Reeves, Hubert. O primeiro segundo. Lisboa: Gradiva, 1995.

Rocha, José Fernando (org). Origens e evolução das ideias da física. Salvador: Edufba, 2002.

Rosenfeld, Rogério. Feynman & Gell-Mann: luz, quarks, ação. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

Sagan, Carl. Cosmos. Rio de Janeiro: Livraria Francisco Alves Editora, 1989.

Silk, Joseph. The Big Bang. 3rd ed. New York: Owl Books, 2002.

_______. The infinite cosmos: questions from the frontiers of cosmology. Oxford: Oxford University Press, 2006.

Singh, Simon. Big Bang. Rio de Janeiro: Record, 2006.

Steinhardt, Paul J. and Turok, Neil. Endless Universe: beyond the Big Bang. New York: Broadway Books, 2007.

Strathern, Paul. O sonho de Mendeleiev: a verdadeira história da química. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2002.

Susskind, Leonard. The black hole war: my battle with Stephen Hawking to make the world safe for quantum mechanics. New York: Back Bay Books, 2009.

Toledo Piza, Antônio F.R. Schrödinger & Heisenberg: a física além do senso comum. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

Tomei, Carlos. Euclides: a conquista do espaço. São Paulo: Odysseus Editora, 2006.

Valadares, Eduardo de Campos. Newton: a órbita da Terra em um copo d’água. São Paulo: Odysseus Editora, 2009.

Viegas, Sueli M.M. No coração das galáxias. São Paulo: Edusp, 2007.

Vieira, Cássio Leite. Einstein: o reformulador do Universo. São Paulo: Odysseus Editora, 2003.

Weinberg, Steven. Sonhos de uma teoria final. Lisboa: Gradiva, 1996.

_______. Os três primeiros minutos. Lisboa: Gradiva, 2002.

Westfall, Richard S. A vida de Isaac Newton. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1995.

White, Michael. Isaac Newton: o último feiticeiro. Uma biografia. Rio de Janeiro: Record, 2000.

_______. Galileu Anticristo: uma biografia. Rio de Janeiro: Record, 2009.

Wilczek, Frank. The lightness of being: mass, ether and the unification of forces. New York: Basic Books, 2008.

Zingano, Marco. Platão e Aristóteles. São Paulo: Odysseus Editora, 2005.

ENCICLOPÉDIAS E GUIAS

Rees, Martin. Enciclopédia Ilustrada do Universo. São Paulo: Duetto Editorial, 2008.

Ridpath, Ian. Guia ilustrado Zahar astronomia. Rio de Janeiro: Jorge Zahar Ed., 2007.

ARTIGOS DA INTERNET

Witten, Eduard. Universe on a string. http://migre.me/ut3w. Acesso em 08/02/08

CURSOS PELA INTERNET

Curso de Cosmologia. Prof. Antares Kleber. Observatório Nacional. www.on.br (acesso durante o ano de 2008).

Curso de Astronomia e Astrofísica. Profs. Kepler de Souza Oliveira Filho e Maria de Fátima Oliveira Saraiva. Departamento de Astronomia do Instituto de Física da UFRGS. http://astro.if.ufrgs.br/ (acesso durante o ano de 2008).

REVISTAS

Scientific American Brasil, nº 7, dezembro, 2002

Scientific American Brasil, nº 26, Edição Especial Fronteiras da Física, 2008

Scientific American Brasil, nº 27, Edição Especial Cosmos, 2008

Scientific American Brasil, n° 68, janeiro, 2008

_________.n° 71, abril, 2008

_________.n° 73, junho, 2008

Edmac Lima Trigueiro tem 42 anos e reside com a mulher e três filhos em Fortaleza. É bacharel em Direito, com especialização e mestrado pela Universidade Federal do Ceará. Foi bolsista do BNB (1984-1986), servidor da Justiça Federal (1993-1995), Promotor de Justiça (1996-1999) e Procurador da República (1999), sempre ingressando por concurso em que foi aprovado entre os dez primeiros colocados. Aprovado também nos concursos de Delegado de Polícia Federal (1995) e Juiz Federal (1999). Nas horas vagas, dedica-se à prática de esportes (natação e corrida) e aos estudos das questões fundamentais das origens (do universo, da vida e do homem). Este livro foi desenvolvido ao longo dos últimos quatro anos e é fruto desse seu primeiro mergulho nas origens do Universo

Table of Contents